



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
& ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: «Διαχρονική έρευνα ξηρασίας με χρήση δορυφορικών εικόνων.
Πιλοτική εφαρμογή στην Περιφέρεια Θεσσαλίας»**

Απόστολος Θεμ. Τσακνάκης

Τριμελής επιτροπή:

Δρ. Περάκης Κωνσταντίνος – Καθηγητής ΤΜΧΠΠΑ ΠΘ (Επιβλέπων)

Δρ. Σταθάκης Δημήτριος – Καθηγητής ΤΜΧΠΠΑ ΠΘ

Δρ. Φαρασλής Ιωάννης – Ειδικό Διδακτικό Προσωπικό Τμ. Περιβάλλοντος ΠΘ

Βόλος, Ιούνιος 2021

Στον παππού μου, Απόστολο Σωνίδα

ΔΗΛΩΣΗ

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία:

Όνοματεπώνυμο:

Υπογραφή:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με αντικείμενο την παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων βλάστησης, βροχόπτωσης και επιφανειακής θερμοκρασίας στην ηπειρωτική Θεσσαλία, για την εικοσαετία 2001 - 2020.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας (συχνότητα εμφάνισης ξηρασιών, ένταση και διάρκεια), καθώς και η χαρτογράφηση της χωρικής κατανομής τους, προκειμένου να περιγράψει ολοκληρωτικά το φαινόμενο και να προκύψουν συμπεράσματα τα οποία θα βοηθήσουν στη διαχείριση του φαινομένου στη Θεσσαλία αλλά και σε άλλες περιοχές όπου δυνητικά μπορεί να εφαρμοσθεί η μεθοδολογία της παρακολούθησης του φαινομένου της ξηρασίας με δορυφορικά δεδομένα.

Η παρατήρηση του φαινομένου της ξηρασίας από την επιστημονική κοινότητα μπορεί να συνδράμει στο σχεδιασμό πολιτικών και την επιβολή μέτρων στις προβληματικές περιοχές όπου διαχρονικά εμφανίζουν ξηρασία και η χρήση τους είναι μη συμβατή.

Λέξεις κλειδιά: Ξηρασία, τηλεπισκόπηση, δορυφορικά δεδομένα, δείκτης βλάστησης, επιφανειακή θερμοκρασία, ύψος βροχής.

ABSTRACT

This diploma thesis entitled “Periodic drought event monitoring using satellite derived data – trial application at the Region of Thessaly”, was carried out during the Undergraduate Program at the Department of Planning and Regional Development, School of Engineering at the University of Thessaly. The monitoring of drought sequences in the Region of Thessaly mainland is attempted, using satellite data of the Vegetation Index NDVI, Land Surface Temperature (LST) and rainfall for the 20-year period of 2001 – 2020.

Drought event observations and constant monitoring by the scientific community, enables policy designing, leading to applied measures of prevention or appeasement depending on the specifics of each case. This project aims at the understanding and analysis of the characteristics of drought events, namely frequency, duration and level of intensity, through the mapping of the spatial distribution of those three characteristics using, free of charge, satellite data. This complete analysis can provide the necessary information needed by drought management policy makers in Thessaly and in any other problematic area in need of drought monitoring and management, leading to more appropriately designed, allowed land uses.

Keywords: Drought, drought monitoring, vegetation index, NDVI, satellite data, LST, rainfall.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	18
2.1. ΞΗΡΑΣΙΑ.....	18
2.2 ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	20
2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	22
2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	23
2.5 ΑΙΤΙΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	24
2.6 ΔΟΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	24
2.6.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	24
2.6.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.....	25
2.6.3 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	26
2.7 ΔΕΙΚΤΕΣ	27
2.7.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ - ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	28
2.7.2 Ο ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI.....	30
2.7.3 ΛΟΙΠΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	32
2.8 ΤΟ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟ MODIS	34
2.8.1 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ MODIS	38
2.8.2 ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ MODIS	40
2.8.3 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI ΩΣ ΠΡΟΪΟΝ MODIS	41
2.8.4 ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΟ ΔΕΙΚΤΗ NDVI.....	42
2.9 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ CHIRPS.....	47
2.10 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	48
2.11 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	48
2.11.1 ΓΣΠ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	50
3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	51
3.1.1 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ..51	
3.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI.....	52
3.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	54
3.1.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI (NDVI anomaly) ΜΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ - ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ	57
4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.....	57
4.1.1 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΟΡΙΑ	57
4.1.2 ΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΗΣ	58
4.1.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΣΤΑΣΗ	59
4.1.4 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	61
4.1.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	62
4.1.6 ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	65
4.1.7 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΠΟΡΕΙΑ	66
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	67
4.2.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ	68
4.2.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ	68
4.2.3 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ	69
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ	69
4.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (Model Builder).....	69
4.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ NDVI ANOMALY ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	71
4.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2020 ΜΕ ΤΟΝ Μ.Ο. ΔΕΚΑΠΕΝΤΑΕΤΙΑΣ 2001 -2015.	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ	72
5.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ	72
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	76
5.3 ΑΧΩΡΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ NDVI – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ - ΖΖΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	81
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	84
A.1. Βλάστηση στη Θεσσαλία – Συγκριτική Χαρτογραφική Απεικόνιση	85
A.1.1 Σύγκριση τιμών NDVI του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο (Long Term Average) τιμών της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	85
A.1.2. Διαφορά τιμών NDVI του έτους 2020 από τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών της 15ετίας 2001 – 2015	86
A.1.3 Σύγκριση τιμών NDVI του Ιανουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιανουαρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	87
A.1.4 Σύγκριση τιμών NDVI του Φεβρουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Φεβρουαρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	88
A.1.5 Σύγκριση τιμών NDVI του Μαρτίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Μαρτίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	89
A.1.6 Σύγκριση τιμών NDVI του Απριλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Απριλίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	90
A.1.7 Σύγκριση τιμών NDVI του Μαΐου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Μαΐου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	91
A.1.8 Σύγκριση τιμών NDVI του Ιουνίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιουνίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	92
A.1.9 Σύγκριση τιμών NDVI του Ιουλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιουλίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	93
A.1.10 Σύγκριση τιμών NDVI του Αυγούστου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Αυγούστου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	94

A.1.11 Σύγκριση τιμών NDVI του Σεπτεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Σεπτεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	95
A.1.12 Σύγκριση τιμών NDVI του Οκτωβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Οκτωβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	96
A.1.13 Σύγκριση τιμών NDVI του Νοεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Νοεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	97
A.1.14 Σύγκριση τιμών NDVI του Δεκεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Δεκεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	99
B.1 Βροχόπτωση στη Θεσσαλία – Συγκριτική Χαρτογραφική Απεικόνιση	99
B.1.1 Χιλιοστά Βροχόπτωσης Θεσσαλίας - Διαφορά μέσης Βροχόπτωσης του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο της 15ετίας 2001 – 2015	100
B.1.2 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιανουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιανουαρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	101
B.1.3 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Φεβρουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Φεβρουαρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	102
B.1.4 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Μαρτίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Μαρτίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	103
B.1.5 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Απριλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Απριλίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	104
B.1.6 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Μαΐου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Μαΐου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	105
B.1.7 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιουνίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιουνίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	106
B.1.8 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιουλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιουλίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	107
B.1.9 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Αυγούστου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Αυγούστου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	108
B.1.10 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Σεπτεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Σεπτεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.....	109

B.1.11 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Οκτωβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Οκτωβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	110
B.1.12 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Νοεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Νοεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	111
B.1.13 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Δεκεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Δεκεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	113
○ Γ.1 Αποτελέσματα Pearsons correlation από SPSS v.25.....	113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	117

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αρχή λειτουργίας δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τη λήψη πληροφοριών.....	25
Εικόνα 2: Φασματικές Υπογραφές Στόχων (http://www.eumetrain.org/).....	26
Εικόνα 3: Το Φασματοραδιόμετρο MODIS (https://modis.gsfc.nasa.gov/).....	35
Εικόνα 4: Ο αισθητήρας MODIS σαρώνει την γήινη επιφάνεια στη διάρκεια μιας ημέρας (https://modis.gsfc.nasa.gov/).....	36
Εικόνα 5: Το προϊόν του MODIS, MOD13A2 – NDVI (https://lpdaac.usgs.gov/products/).....	42
Εικόνα 6: Μοντέλο ArcGIS – Model Maker για την περικοπή των NDVI εικόνων.....	71
Εικόνα 7: Μοντέλο ArcGIS – Model Maker μετατροπή των τιμών των εικόνων NDVI σε κλίμακα από -1 έως 1 (scaling).....	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους (Iglesias et al., 2007).....	29
Πίνακας 1.2: Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους (Δαλέζιος, 2002).....	32
Πίνακας 1.3: Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά των MODIS (http://modis.gsfc.nasa.gov/).....	37
Πίνακας 1.4: Εφαρμογές των MODIS (http://modis.gsfc.nasa.gov/).....	37
Πίνακας 1.5: Ταξινόμηση των εικόνων σε κλάσεις σύμφωνα με την ένταση φαινομένου ξηρασίας ανά εικονοστοιχείο.....	55
Πίνακας 1.6: Ενδεικτικό ύψος βροχόπτωσης για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλίας (meteo.gr).....	63
Πίνακας 1.7: Λεκάνες Απορροής Ποταμού στο ΥΔ Θεσσαλίας (EL08).....	65
Πίνακας 1.8: Ετήσια ποσοστά κάλυψης εδάφους ανά επίπεδο εντάσεως φαινομένου ξηρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.....	76
Πίνακας 1.9: Ποσοστιαίες μεταβολές Δείκτη βλάστησης, βροχόπτωσης και επιφανειακής θερμοκρασίας ανά έτος στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Τύποι ξηρασίας και αλληλεπίδραση μεταξύ τους. (Ειδ. Γρ. Υδάτων, 2013).....	21
Διάγραμμα 1.2: Οικολογική ξηρασία στον 21ο αιώνα (Crausbay et al., 2017).....	22
Διάγραμμα 1.3: Διάγραμμα ροής της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας (Lkhagvadorj et.al., 2019).....	52
Διάγραμμα 1.4: Ποσοστιαία διαχρονική μεταβολή μέσου δείκτη βλάστησης (NDVI), μέσης βροχόπτωσης και μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001- 2020.....	79
Διάγραμμα 1.5: Χιλιοστά Βροχόπτωσης Θεσσαλίας - Διαφορά μέσης Βροχόπτωσης του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο της 15ετίας 2001 – 2015.....	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Περιοχή μελέτης – Περιφέρεια Θεσσαλίας, ηπειρωτικό τμήμα (επεξεργασία ιδίου).....	59
Χάρτης 2: Χάρτης καλύψεων γης γεωγραφικού διαμερίσματος Θεσσαλίας (επεξεργασία ιδίου).....	60
Χάρτης 3: Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (επεξεργασία ιδίου).....	64
Χάρτης 4: Χωροχρονική κατανομή φαινομένου ξηρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.....	75
Χάρτης 5: Χωρική κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων ξηρασίας και της μη ξηρασίας (κανονικές συνθήκες υγρασίας) στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.....	78

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την κατάθεση της διπλωματικής μου ολοκληρώνεται η δεύτερη περίοδος φοίτησής μου στο ΤΜΧΠΠΑ, σχεδόν δέκα χρόνια μετά τη λήψη του μεταπτυχιακού μου από το ίδιο τμήμα. Ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάσκοντές μου, Περάκη Κωνσταντίνο (επιβλέποντα της διπλωματικής μου), Σταθάκη Δημήτριο και Φαρασλή Ιωάννη για τις, πάντα ενδιαφέρουσες διαλέξεις τους και ιδιαίτερα τον Φαρασλή Ιωάννη για τις σχολαστικές αναγνώσεις και διορθώσεις της διπλωματικής μου. Τους ευχαριστώ επιπλέον, για τον πολύτιμο χρόνο τους που αφιέρωσαν ως μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Ευχαριστώ επίσης, τους συμφοιτητές μου, φίλους και πλέον συναδέλφους, Λαμπρόπουλο Ηλία και Κοντούρη Χρήστο που αποτέλεσαν τον κορμό της ομάδας φοιτητών με την οποία συνεργάστηκα για τις ανάγκες των ομαδικών εργασιών κατά τη διάρκεια της πενταετούς μας φοίτησης.

Τέλος, ευχαριστώ τη σύζυγό μου Όλγα, τα παιδιά μου, Εμμανουέλα και Θέμη, τους γονείς μου και τα αδέρφια μου, για την έμμεση συμμετοχή τους και την υπομονή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με αντικείμενο την παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων στη Θεσσαλία για την εικοσαετία 2001 - 2020.

Η ξηρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους φυσικούς κινδύνους που επηρεάζουν το περιβάλλον και την οικονομία των χωρών σε ολόκληρο τον πλανήτη (Dalezios, 2011). Την τελευταία τριακονταετία, ο αριθμός και η ένταση των κρουσμάτων ξηρασίας στην ΕΕ αυξήθηκε ενώ ένα από τα πιο εκτεταμένα φαινόμενα ξηρασίας εντοπίστηκε το 2003 επηρεάζοντας 100 εκατομμύρια κατοίκους και περίπου το ένα τρίτο της Ευρωπαϊκής επικράτειας (europa.eu/environment/water). Σημειώνεται, ότι οι ξηρασίες είναι σε παγκόσμιο επίπεδο οι δαπανηρότερες φυσικές καταστροφές, προκαλώντας 6 - 8 δισεκατομμύρια δολάρια ζημιές ετησίως και επηρεάζοντας περισσότερους ανθρώπους από οποιαδήποτε άλλη μορφή φυσικής καταστροφής. (Wilhite, 2000).

Η περιοχή της Θεσσαλίας επιλέχθηκε λόγω της μεγάλης εξάρτησης του αναπτυγμένου πρωτογενούς τομέα της (www.statistics.gr) από τις συνθήκες υγρασίας των εδαφών με σκοπό τον εντοπισμό συγκεκριμένων προβληματικών περιοχών με υψηλή συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων ξηρασίας. Η εξάρτηση από μετεωρολογικά δεδομένα δεν είναι αρκετή από μόνη της για να μελετήσει κανείς τις περιοχές της ξηρασίας, ιδίως όταν αυτά τα δεδομένα μπορεί να είναι αραιά, και ελλιπή. Αυξάνοντας τα καιρικά δεδομένα όμως, μέσω των δορυφορικών εικόνων, μπορεί να προσδιοριστεί η τοποθεσία, η συχνότητα και η σοβαρότητα της ξηρασίας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, υλοποιήθηκε μεθοδολογία παρακολούθησης της ξηρασίας στη Θεσσαλία κατά την εικοσαετία 2001 – 2020 με χρήση δορυφορικών δεδομένων MODIS. Σκοπός είναι η εφαρμογή της απλής μεθοδολογίας χαρτογράφησης της εξέλιξης του φαινομένου στη Θεσσαλία με χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI αλλά και ο εντοπισμός των προβληματικών περιοχών με τη μεγαλύτερη και συχνότερη εμφάνιση του φαινομένου. Θεωρείται ότι η παρατήρηση του φαινομένου της ξηρασίας από την επιστημονική κοινότητα μπορεί να συνδράμει στο σχεδιασμό πολιτικών και την επιβολή μέτρων στις προβληματικές περιοχές που διαχρονικά εμφανίζουν ξηρασία και η χρήση τους είναι μη συμβατή. Σε επίπεδο χωροταξικού σχεδιασμού, είναι υπαρκτή η

ανάγκη για τέτοιου είδους πληροφορία η οποία σε συνδυασμό με άλλες κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους θα οδηγήσει στη θεσμοθέτηση αποδοτικότερων χρήσεων γης και απόδοσης προνομίων και ελαφρύνσεων σε συμβατές χρήσεις.

Οι αντικειμενικοί στόχοι της εργασίας επικεντρώνονται στη μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας κατά την εικοσαετία 2001 – 2020 στη Θεσσαλία και επιμερίζονται ως εξής:

α) καλύτερη κατανόηση χωροχρονικής εμφάνισης και εκδήλωσης ξηρασίας, β) Μελέτη της χωροχρονικής εξέλιξης της ξηρασίας, γ) μελέτη της συχνότητας εμφάνισης ξηρασίας, δ) εφαρμογή μεθοδολογίας βασισμένης στο δείκτη βλάστησης NDVI, ε) μελέτη της χωρικής συσχέτισης μεταξύ δείκτη βλάστησης, ύψους βροχόπτωσης και επιφανειακής θερμοκρασίας με δεδομένα που προέχονται αποκλειστικά από δορυφορικές εικόνες.

Η εργασία είναι δομημένη σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύεται η υπόθεση εργασίας της διπλωματικής και δηλώνεται ο σκοπός και ο στόχος της. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται εισαγωγή στον όρο ξηρασία, αναλύονται και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι τύποι ξηρασίας, καθώς και οι επιπτώσεις της ενώ δίνονται πληροφορίες για τους δείκτες ξηρασίας, τα δορυφορικά δεδομένα MODIS και τις βασικές αρχές Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της μεθοδολογίας για την παρακολούθηση του φαινομένου ξηρασίας με χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI. Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται η μελέτη περίπτωσης όπου γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας παρακολούθησης ξηρασίας στην ηπειρωτική Θεσσαλία. Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της εξέλιξης του φαινομένου της ξηρασίας στη Θεσσαλία κατά την εικοσαετία 2001 – 2020 καθώς και η χωρική κατανομή της συχνότητας εμφάνισης του κάθε επιπέδου εντάσεως φαινομένου και τέλος τα αποτελέσματα της χωρικής συσχέτισης των παραμέτρων του δείκτη βλάστησης NDVI, του ύψους βροχής και της επιφανειακής θερμοκρασίας.

Στο 6^ο κεφάλαιο, σχολιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την μελέτη του φαινομένου ξηρασίας στη Θεσσαλία και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα και εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η λειψυδρία και η ξηρασία έχουν αναχθεί σε μείζον πρόβλημα στην Ευρωπαϊκή Ένωση το οποίο η μη ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων και η αλλαγή κλίματος, αναμένεται να επιδεινώσει. Σύμφωνα με την Ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (IP/07/1121-18.07.2007), για την αντιμετώπιση του προβλήματος λειψυδρίας και ξηρασίας την τελευταία τριακονταετία, ο αριθμός και η ένταση των κρουσμάτων ξηρασίας στην ΕΕ αυξήθηκε με ραγδαίους ρυθμούς (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013). Ο αριθμός των περιοχών και των κατοίκων που επλήγησαν από ξηρασία αυξήθηκε κατά 20% περίπου μεταξύ του 1976 και του 2006. Η αναποτελεσματική διαχείριση της ξηρασίας και της λειψυδρίας, μπορεί να οδηγήσει τα υδάτινα οικοσυστήματα σε ακόμη μεγαλύτερη απόκλιση από την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας πλαίσιο για τα ύδατα (2000/60/ΕΚ), καθώς το έλλειμμα νερού λόγω ξηρασίας, έχει ως αποτέλεσμα την έντονη υπερεκμετάλλευση ποταμιών και ταμιευτήρων θέτοντας σε κίνδυνο την εμπλεκόμενη χλωρίδα και πανίδα. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, θεωρείται ότι η παρατήρηση του φαινομένου της ξηρασίας από την επιστημονική κοινότητα μπορεί να συνδράμει στο σχεδιασμό πολιτικών και επιβολή μέτρων στις προβληματικές περιοχές όπου διαχρονικά εμφανίζουν ξηρασία και η χρήση τους είναι μη συμβατή (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).

2.1. ΞΗΡΑΣΙΑ

Μέχρι σήμερα οι επιστήμονες δεν έχουν καταλήξει σε έναν ορισμό του φαινομένου της ξηρασίας. Η αρχική προσέγγιση έγινε από Wallén ο οποίος διαχώρισε το φαινόμενο της ξηρασίας με την ξηρότητα και την λειψυδρία. Σύμφωνα με τη δημοσίευσή του, η ξηρασία διαφέρει τόσο από την λειψυδρία όσο και από την ξηρότητα, καθώς αναφέρεται σε μια παροδική κατάσταση του κλίματος που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση του νετού («νετός» νοείται το σύνολο των κατακόρυφων, κυρίως, ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που αποφέρουν μετρήσιμη ποσότητα νερού) και ειδικότερα της βροχόπτωσης, σε μια περιοχή. Η λειψυδρία αφορά σε μόνιμη κατάσταση ανισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης υδατικών πόρων, ενώ η ξηρότητα αναφέρεται στο γνώρισμα του κλίματος που σε μόνιμη κατάσταση παρουσιάζει μειωμένη βροχόπτωση που δεν επαρκεί για τις ανάγκες της βλάστησης (Wallén, 1970).

Άλλη προσέγγιση καταλήγει στο ότι θα πρέπει ο ορισμός του φαινομένου να είναι τοπικού χαρακτήρα καθώς υπάρχει πληθώρα παραμέτρων που εμπλέκονται στη μελέτη του φαινομένου αλλά και διαφορετικό εύρος τιμών της κάθε παραμέτρου ανά περιοχή. Πρέπει επομένως να μελετώνται πρώτα τα τοπικά χαρακτηριστικά και έπειτα να ερευνώνται οι στατιστικοί δείκτες των χαρακτηριστικών του (Dracup et al., 1980).

Συνοψίζοντας τα βιβλιογραφικά ευρήματα από τους διαφορετικούς ορισμούς της ξηρασίας προκύπτουν τα κάτωθι:

1. Η απουσία ενός σαφούς και αντικειμενικού ορισμού της ξηρασίας σε συγκεκριμένο περιστατικό ήταν εμπόδιο στο να κατανοηθεί το φαινόμενο το οποίο είχε ως συνέπεια την αδράνεια ή/και απραξία όσον αφορά στη διαχείριση του.
2. Δεν υπάρχει, αλλά ούτε επιβάλλεται να υπάρχει, ένας ενιαίος ορισμός ξηρασίας.
3. Οι υφιστάμενοι ορισμοί δείχνουν την πολύπλευρη επιρροή της ξηρασίας.
4. Είναι αναγκαία και χρήσιμη η κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σε τέσσερις κατηγορίες (μετεωρολογική - κλιματική, γεωργική, υδρολογική, κοινωνικοοικονομική) ανάλογα με τον σκοπό της προσέγγισης.
5. Η ξηρασία είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο με μεγάλες κοινωνικές επιπτώσεις.
6. Η καταστροφικότητα της ξηρασίας εκφράζεται μέσα από τις κοινωνικές επιπτώσεις, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.
7. Οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να εκτείνονται πέρα από τα όρια περιοχής φυσικής επιρροής.
8. Οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να διαρκέσουν αρκετά χρόνια μετά την λήξη του επεισοδίου.
9. Ο ανθρώπινος και ο κοινωνικός παράγοντας συχνά εντείνουν και επιτείνουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας.
10. Η ξηρασία είναι ένα δυναμικό φαινόμενο με μια σχέση προσφοράς – ζήτησης υδατικών πόρων και από την ζήτηση προκύπτουν οι επιπτώσεις, όταν δηλαδή μειωθούν οι παροχές του πόρου αρχίζουν να φαίνονται οι επιπτώσεις.
11. Μη επαρκής κατανόηση του φαινομένου και η υποτίμηση των επιπτώσεων της ξηρασίας τόσο σε επίπεδο περιβάλλοντος όσο σε κοινωνικό επίπεδο από την επιστημονική κοινότητα και τις κυβερνήσεις θα έχει σοβαρές παγκόσμιες επιπτώσεις

για το μέλλον καθώς η ψαλίδα μεταξύ παραγωγής τροφής και κατανάλωσης ολοένα και κλείνει (Wilhite και Glantz, 2004).

Η απουσία ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού υπήρξε το κυριότερο εμπόδιο στην διερεύνηση της ξηρασίας σε πληθώρα περιπτώσεων. Επίσης, η απουσία του ορισμού μπορεί να οδηγήσει σε αδράνεια, απραξία ή σε ad hoc λύσεις με ελλιπή γνώση των συνεπειών των αποφάσεων. Ο ορισμός της έννοιας της ξηρασίας είναι αναγκαίος για τη μελέτη των φαινομένων της ξηρασίας. (Anyamba και Tucker, 2012).

2.2 ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η επιστημονική κοινότητα, καθιέρωσε πέντε τύπους ξηρασίας προκειμένου να βελτιώσει τη μεθοδολογία διερεύνησης του φαινομένου οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια και απεικονίζονται σχηματικά στο διάγραμμα 1.1.

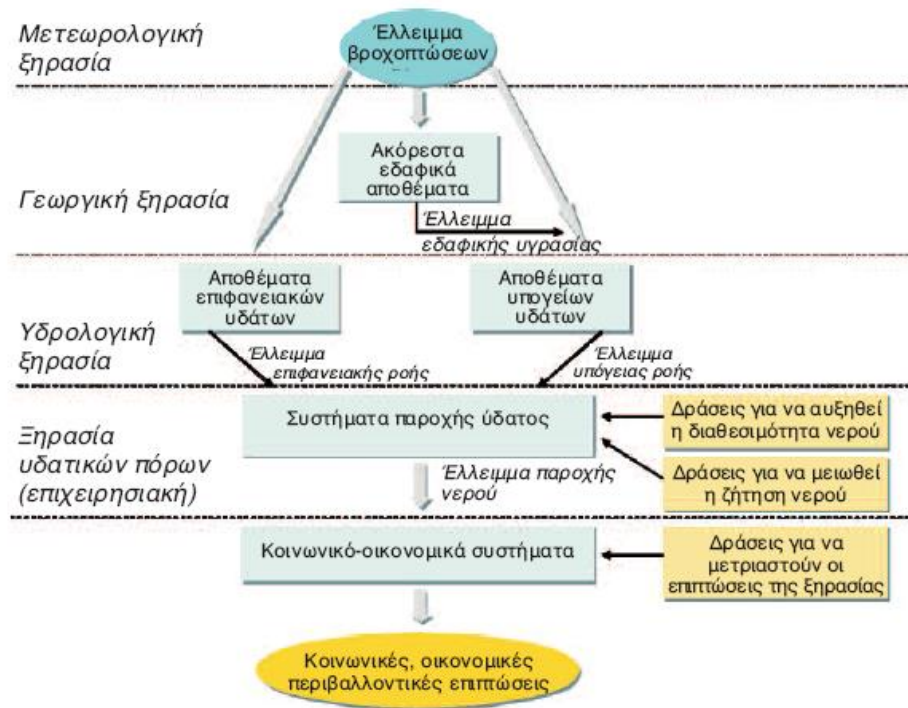
A. Η μετεωρολογική - κλιματική ξηρασία που ορίζεται σύμφωνα με τις αποκλίσεις της βροχόπτωσης από την αναμενόμενη βροχόπτωση σύμφωνα με το κλίμα της εκάστοτε περιοχής. Μεγάλης κλίμακας διαταραχές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία (όπως η παρουσία ενός μεγάλου πεδίου υψηλών πιέσεων που συνδέεται με την απουσία βροχής) μπορούν να επηρεάσουν το βροχομετρικό καθεστώς για μεγάλη χρονική περίοδο και να προκαλέσουν ξηρασία σε μια περιοχή (Crausbay et al., 2017).

B. Η γεωργική ξηρασία προκύπτει με βάση τις επιδράσεις που έχει στη γεωργία η μετεωρολογική ξηρασία, και είναι πάντα αποτέλεσμα της ανεπάρκειας της εδαφικής υγρασίας να καλύψει τις ανάγκες διαπνοής των φυτών, ώστε να ξεκινήσει ή να συνεχιστεί η ανάπτυξη τους. Η κύρια εξεταζόμενη παράμετρος για την εκτίμηση γεωργικής ξηρασίας είναι η διαφορά μεταξύ δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και βροχόπτωσης. Σημειώνεται ότι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αφορά στις συνολικές απώλειες νερού λόγω εδαφικής εξάτμισης (Crausbay et al., 2017).

Γ. Η υδρολογική ξηρασία είναι αποτέλεσμα χαμηλών επιπέδων βροχόπτωσης και εκδηλώνεται με παρατηρούμενη χαμηλή εδαφική υγρασία και χαμηλή παροχή των ποταμών και πηγών, χαμηλή στάθμη λιμνών και λοιπών ταμιευτήρων. Η υδρολογική ξηρασία εμφανίζεται μετά την μετεωρολογική και τη γεωργική ξηρασία που εκδηλώνονται πρώτες. (Crausbay et al., 2017).

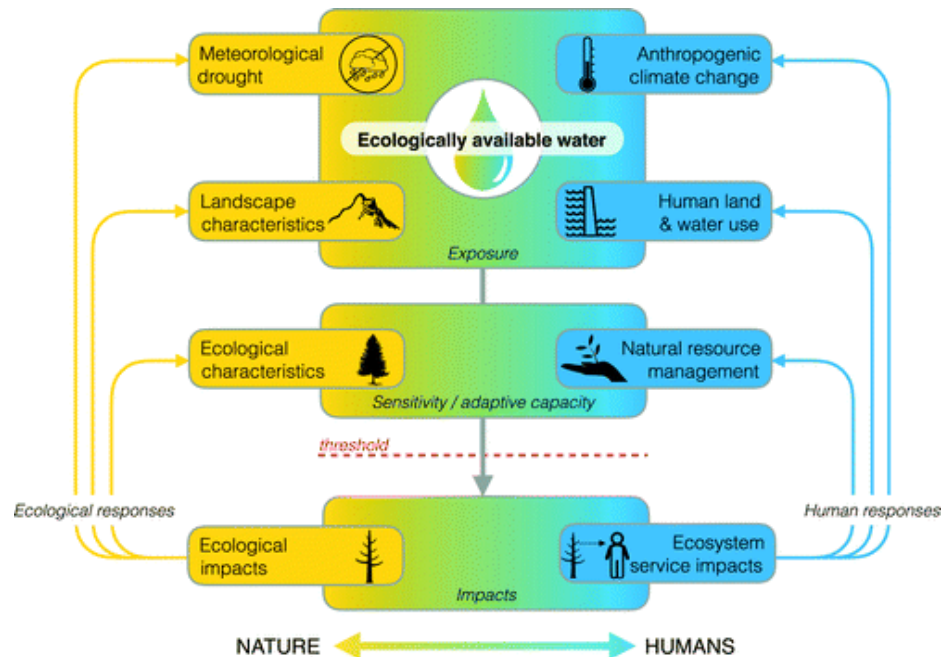
Δ. Η κοινωνικοοικονομική ξηρασία ουσιαστικά αφορά στην τρωτότητα της κοινωνίας λόγω έλλειψης υδατικών πόρων. Οι συνέπειες της κοινωνικοοικονομικής ξηρασίας εμφανίζονται όταν η ζήτηση για τα αγαθά πρώτης ζήτησης ξεπερνά την προσφορά τους ως αποτέλεσμα της έλλειψης νερού. Επιβαρύνεται ιδιαίτερα σε κοινωνίες ανισοτήτων ενώ μπορεί να προκληθεί και μέσα από πολιτικές διαδικασίες, όπως οι διαμάχες μεταξύ κρατών και κοινωνικών ομάδων που έχουν ως συνέπεια την στέρηση πρόσβασης του κοινού συδάτινους πόρους (Crausbay et al., 2017).

Οι τύποι της ξηρασίας έχουν κοινό χαρακτηριστικό το έλλειμμα βροχοπτώσεων. Η ξηρασία με την προσέγγιση αυτή εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου από τύπο σε τύπο.



Διάγραμμα 1.1: Τύποι ξηρασίας και αλληλεπίδραση μεταξύ τους. (Ειδ. Γρ. Υδάτων, 2013)

Ε. Τελευταία, εισάγεται και η έννοια της οικολογικής ξηρασίας και ορίζεται ως «το παροδικό έλλειμμα στην διαθεσιμότητα νερού, η οποία ωθεί τα οικοσυστήματα πέραν των ορίων της τρωτότητας, επηρεάζει τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων και ενεργοποιεί αναδράσεις στα φυσικά ή/και ανθρώπινα συστήματα» ενώ περιγράφεται και στο διάγραμμα 1.2. (Crausbay et al., 2017).



Διάγραμμα 1.2: Οικολογική ξηρασία στον 21ο αιώνα (Crausbay et al., 2017)

2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας είναι η ένταση, η χρονική διάρκεια, η χωρική κατανομή και η καταστροφικότητα (Dracup et. al., 1980).

Η ένταση συναρτάται με την βροχόπτωση και άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με την εξάτμιση. Η ένταση ποσοτικοποιείται με τη χρήση ή με τη χρήση δεικτών (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

Η χρονική διάρκεια δεν προσδιορίζεται εύκολα καθώς δε δύναται να οριστεί επακριβώς η χρονική στιγμή έναρξης και λήξης του φαινομένου. Η ξηρασία χαρακτηρίζεται από αργή εξέλιξη ενώ η επίδρασή της είναι αθροιστική (Palmer, 1965).

Όσο η ξηρασία διατηρείται σε μία περιοχή τόσο πιο πιθανό είναι με την πάροδο του χρόνου να επεκταθεί και σε γειτονικές περιοχές. Έχει παρατηρηθεί μικρής εκτάσεως χώρες, όπως η Ελλάδα, να πλήττονται ολόκληρες από κάποιο επεισόδιο ξηρασίας ενώ είναι εξαιρετικά απίθανο κάτι τέτοιο να συμβεί σε χώρες όπως η Κίνα ή Η Αμερική (Henriques και Santos, 1999).

Η έννοια της καταστροφικότητας της ξηρασίας αφορά στην επίδραση της ξηρασίας που έχει στις ανθρώπινες δραστηριότητες και εξαρτάται από τη βροχόπτωση τη διαχείριση των αποθεμάτων νερού και τη ζήτηση (Μαμάσης, 1997).

2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η ανεπαρκής γνώση γύρω από το αντικείμενο και η υποτίμηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της ξηρασίας από τους αρμόδιους κυβερνητικούς φορείς θα οδηγήσει σε σοβαρές παγκόσμιες επιπτώσεις (Willhite et al., 1985). Αν και δεν πρόκειται για μια φυσική καταστροφή που γίνεται άμεσα αισθητή, όπως η πλημμύρα και ο σεισμός που καταστρέφουν, σχετικά άμεσα, υποδομές, οι επιπτώσεις της δύναται να είναι εξίσου καταστροφικές αλλά σε βάθος χρόνου. Συγκεκριμένα, τα προβλήματα που προκύπτουν είναι μεταξύ άλλων οι απώλειες της γεωργική παραγωγής, οικολογικές καταστροφές οικοσυστημάτων με συνεπαγόμενη μείωση βιοποικιλότητας, αύξηση κινδύνου πυρκαγιάς και υποβάθμιση εδάφους – ερημοποίηση, κοινωνική ανησυχία, υποσιτισμός και πτώχευση (Ζούκος, 2018). Στη συνέχεια δίνονται εν συντομία οι σημαντικότερες επιπτώσεις.

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον:

- Ταπείνωση της παροχής ύδατος και ποιότητας του επιφανειακού και του υπόγειου νερού
- Πληττόμενα ενδαιτήματα σε όλα τα επιφανειακά υδάτινα οικοσυστήματα γλυκού νερού
- Μείωση πόσιμου νερού και τροφής
- Ταπείνωση της ποιότητας του αέρα – δημιουργία σκόνης
- Εμφάνιση ασθενειών λόγω μειωμένης προσωπικής υγιεινής

Οι σημαντικότερες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στην κοινωνία είναι:

- Πληττόμενη δημόσια ασφάλεια και υγεία, λόγω υποβάθμισης της ποιότητας του νερού και του αέρα καθώς και από τον αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών.
- Επιπτώσεις στον τρόπο ζωής (αύξηση ανεργίας, μειωμένη προσωπική υγιεινή, απώλεια περιουσίας)
- Διάρρηξη κοινωνικής συνοχής λόγω επιπτώσεων στις διαφορετικές κοινωνικό-οικονομικές ομάδες
- Ταπείνωση ΑΕΠ λόγω μείωσης γεωργικής και κτηνοτροφικής παραγωγής, τουρισμού, βιομηχανίας και δραστηριοτήτων που εξαρτώνται από τους τομείς αυτούς
- Ανεργία λόγω μείωση παραγωγής

- Πιέσεις για εύρεση κεφαλαίων και ρευστότητας σε οικονομικούς φορείς
- Πρόσθετες δαπάνες για μεταφορά νερού από άλλες περιοχές
- Προβλήματα ρευστότητας στις εταιρείες παροχής ύδατος (Ζούκος, 2018).

2.5 ΑΙΤΙΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

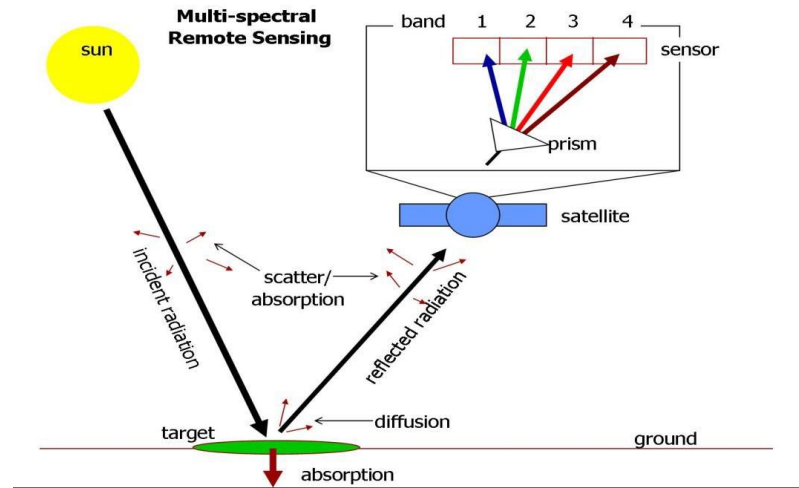
Όπως αναφέρθηκε, υπάρχει αβεβαιότητα στον ακριβή καθορισμό τόσο του χρονικού διαστήματος εμφάνισης και διάρκειας του φαινομένου όσο και αναφορικά με τα όρια της περιοχής εμφάνισης. Η εμφάνιση της ξηρασίας πιθανόν να είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης κάποιων παραμέτρων ή πιθανόν να πρόκειται για τυχαίο συμβάν. Οι επικρατέστερες θεωρίες που εξηγούν το φαινόμενο είναι οι αλλαγές στην κυκλοφορία της αέριας μάζας του πλανήτη, το φαινόμενο El-Niño και αστρονομικοί παράγοντες (Καραμπουρνιώτης, 2012).

2.6 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη απόκτησης πληροφορίας σχετικά με την επιφάνεια της Γης, χωρίς στην πραγματικότητα να είναι σε επαφή με αυτή. Ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η πληροφορία αυτή συλλέγεται από όργανα που δεν έρχονται σε επαφή με τα προς εξέταση αντικείμενα. Η τηλεπισκόπηση βασίζεται σε διάφορες άλλες επιστήμες, όπως τα μαθηματικά, τη φυσική, την πληροφορική, ενώ η αξιοποίηση των δεδομένων που προσφέρει έχει εφαρμογή σε πολλούς επιστημονικούς τομείς όπως στη δασολογία, στη βιολογία και στη μετεωρολογία (Μερτίκας, 1999).

2.6.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η γήινη επιφάνεια ανακλά και απορροφά την ηλιακή και ατμοσφαιρική ακτινοβολία που δέχεται και παράλληλα εκπέμπει η ίδια, υπέρυθη ακτινοβολία.



Εικόνα 1: Αρχή λειτουργίας δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τη λήψη πληροφοριών

Οι δορυφορικοί αισθητήρες ανιχνεύουν και καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου, που είτε ανακλάται είτε εκπέμπεται από μία επιφάνεια σε κάποια φασματική περιοχή στη γη, ή σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα.

Οι τηλεπισκοπικές μέθοδοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τα εμπειρικά μοντέλα, στα οποία συσχετίζονται οι δείκτες βλάστησης με μετρήσεις πεδίου, το μοντέλο διάδοσης ακτινοβολίας περιγράφει τη φασματική διακύμανση της ανάκλασης της βλάστησης, των φύλλων και του εδάφους, και το υβριδικό μοντέλο, που προκύπτει από συνδυασμό παραπάνω μεθόδων (Καρτάλης κ.α., 2018).

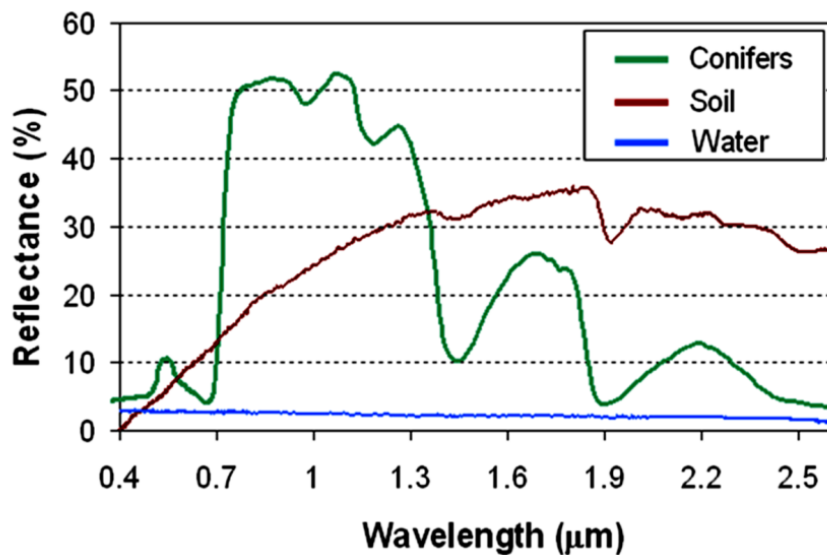
2.6.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Για την τηλεπισκόπηση, το πιο σημαντικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι εκείνο που δημιουργείται από την ακτινοβολία του Ήλιου (Μερτίκας, 1999).

Όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν και ανακλούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Από την καταγραφή αυτής της ακτινοβολίας η τηλεπισκόπηση αντλεί δεδομένα και κατ' επέκταση γνώση για τη μελέτη (διάκριση, παρακολούθηση κλπ.) των αντικειμένων. Τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να περιγραφούν με δύο μοντέλα. Το μοντέλο των κυμάτων, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Maxwell και το μοντέλο των σωματιδίων, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Planck (Campbell, 1996).

2.6.3 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Η φασματική υπογραφή της κάθε επιφάνειας αποτελεί την «ταυτότητα» αναγνώρισης κάθε αντικειμένου και επιφάνειας. Ο πλήρης ορισμός της φασματικής υπογραφής ορίζεται ως εξής: «Φασματικές υπογραφές είναι ο συγκεκριμένος συνδυασμός απεικονισμένης και απορροφημένης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (EM) στα ποικίλα μήκη κύματος που μπορούν μεμονωμένα να προσδιορίσουν ένα αντικείμενο». στην εικόνα 2 Οι μετρήσεις τους δύναται να πραγματοποιηθούν με τη χρήση φασματομέτρου ενώ αρκετά κοινή μέθοδο αποτελεί ο διαχωρισμός του κόκκινου, πράσινου, μπλε και κοντινού υπέρυθρου μέρους του φάσματος.



Εικόνα 2: Φασματικές Υπογραφές Στόχων (<http://www.eumetrain.org/>).

Αυτές οι φασματικές πληροφορίες μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους και να προκύψουν ορισμένοι δείκτες. Συγκεκριμένα, οι δείκτες αυτοί που αναφέρονται στη βλάστηση ονομάζονται δείκτες βλάστησης. Έτσι, δείκτες βλάστησης μπορούν να οριστούν οι δείκτες που συνδυάζουν φασματικές πληροφορίες από επιλεγμένα μήκη κύματος σε μια τιμή, η οποία σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή μία ιδιότητα της βλάστησης, και συνήθως αποτελούν το μέτρο εκτίμησης της υγιούς βλάστησης όπως ο δείκτης NDVI. (Παρχαρίδης, 2015).

2.7 ΔΕΙΚΤΕΣ

Δείκτης ονομάζεται ένας σταθμισμένος συνδυασμός δύο ή περισσότερων ενδείξεων. Ένας δείκτης σχεδιάζεται, ώστε να είναι η περίληψη του συστήματος (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013). Οι δείκτες είναι ένα βασικό κομμάτι στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης στην κατηγορία των τεχνικών φασματικής ενίσχυσης και επιτρέπουν την αντίληψη και καταγραφή των αλλαγών στην επιφάνεια της γης. Για διάφορους αλλά κυρίως για πρακτικούς λόγους μέχρι και σήμερα έχουν δημιουργηθεί πάρα πολλοί δείκτες. Όλοι αυτοί οι δείκτες χωρίζονται σε υποκατηγορίες με βασικό τους κριτήριο την εφαρμογή για την οποία σχεδιάστηκαν. Αυτό συμβαίνει γιατί ο καθένας έχει και κάποιο σκοπό όπως παραδείγματος χάρη για τον εντοπισμό και την ανάλυση των διαφορετικών ειδών βλάστησης, για τον εντοπισμό ορυκτών, αστικών περιοχών, ξηρασίας, νερού, χιονιού και πάγου αλλά και τον εντοπισμό καμένων εκτάσεων (Περάκης κ.α., 2015).

Οι δείκτες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες με βάση την μέθοδο εφαρμογής τους. Η πρώτη κατηγορία περιέχει τους απλούς λόγους που χρησιμοποιούν μόνο την φασματική ακτινοβολία, παράδειγμα της κατηγορίας είναι ο NDVI. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους δείκτες που ελαχιστοποιούν τα διάφορα προβλήματα που δημιουργούνται από το έδαφος. Παράμετροι του εδάφους είναι η βλάστηση και το νερό. Στην επόμενη κατηγορία βρίσκονται οι δείκτες οι οποίοι μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Τέλος, είναι οι πιο σύνθετοι και εξειδικευμένοι δείκτες οι οποίοι εκτιμούν τα διάφορα φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν στον χώρο όπως παραδείγματος χάρη η εκτίμηση των ζημιών μιας πυρκαγιάς (Παρχαρίδης, 2015).

Τα χαρακτηριστικά ενός καλού δείκτη θα πρέπει να είναι τα ακόλουθα (Iglesias et al., 2007):

1. Να είναι ανεξάρτητος περιοχής και χρόνου που υπολογίζεται και άρα συγκρίσιμος σε διάφορες περιοχές και χρονικές περιόδους
2. Να είναι ευκολά υπολογίσιμος και να υπάρχει διαθεσιμότητα στοιχείων
3. Να είναι κατανοητός στους πολίτες
4. Να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένος και να έχει φυσικό αντίκρισμα
5. Να μπορεί να επεκταθεί στο παρελθόν με στόχο τις ιστορικές συγκρίσεις
6. Να έχει μονάδα μέτρησης απλή και με νόημα στον κόσμο

Οι Tsakiris and Pangalou (2009) αντίστοιχα υποστηρίζουν για τα βασικά χαρακτηριστικά των δεικτών θα πρέπει να είναι:

1. Η απλότητα του δείκτη, δηλαδή να είναι εύχρηστος και κατανοητός
2. Να είναι σωστά ορισμένος, επιστημονικά αποδεκτός και με φυσική έννοια
3. Η ευαισθησία, δηλαδή να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών
4. Η έγκαιρη ανταπόκριση του δείκτη στις κλιματικές διακυμάνσεις
5. Η μεταβιβασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές
6. Η διαθεσιμότητα στοιχείων, δηλαδή να υπάρχει πρόσβαση με μεγάλου μήκους χρονοσειρές και καλής ποιότητας δεδομένα
7. Το χαμηλό κόστος επεξεργασίας για την παραγωγή του δείκτη

2.7.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ - ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Η χρήση των ποικίλων δεικτών ξηρασίας που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, επιτρέπει τον προσδιορισμό, την αναγνώριση, το μέγεθος, την ένταση και την χωρική κατανομή των ξηρασιών. Οι δείκτες αυτοί έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και για διαφορετικό σκοπό, όπως ο προσδιορισμός του ελλείμματος βροχόπτωσης, εδαφικής υγρασίας, απορροής ή αποθεμάτων ταμιευτήρων, η επίδραση της ξηρασίας στις καλλιέργειες, η εκτίμηση του κίνδυνου δασικών πυρκαγιών και η αξιολόγηση της κατάστασης της βλάστησης. (Bokusheva et al., 2016 και Silleos et al., 2006)

Για την εκτίμηση των δεικτών, οι μεταβλητές εισόδου που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή απορροή και η χιονόπτωση. Ο πίνακας 1.1 περιέχει τους δημοφιλέστερους δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους (Iglesias et al., 2007).

Πίνακας 1.1: Δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους (Iglesias et al., 2007).

Δείκτες ξηρασίας	Δεδομένα	Κατηγορία χρήσης
Deciles	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός
Standardised Precipitation Index (SPI)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός, χρησιμοποιείται για παρακολούθηση και πρόγνωση
Rainfall Anomaly Index (RAI)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός, ευαίσθητος σε ακραία γεγονότα
Standardized Precipitation Evaporation Drought Index (SPEI)	Βροχοπτώσεις, δυνητική εξατμισοδιαπνοή	Μετεωρολογικός
Reconnaissance Drought Index (RDI)	Βροχοπτώσεις, δυνητική εξατμισοδιαπνοή	Μετεωρολογικός
Run Analysis (Χωρική ανάλυση χρονοσειρών)	Βροχοπτώσεις, παροχή υδατορευμάτων	Μετεωρολογικός και υδρολογικός, για χωροχρονική ανάλυση ιστορικών γεγονότων
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Μετεωρολογικός, αποτελεσματικός στη γεωργία, χρησιμοποιείται για ιστορικές αναλύσεις και εκτίμηση επικινδυνότητας
Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Υδρολογικός, αποτελεσματικός στην παρακολούθηση ξηρασίας
Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Γεωργικός
Surface Water Supply Index (SWSI)	Χιονοπτώσεις, βροχοπτώσεις, παροχή υδατορευμάτων, υδατικά αποθέματα	Υδρολογικός, αποτελεσματικός όταν υπάρχει σημαντική ποσότητα χιονιού
Crop Moisture Index (CMI)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Γεωργικός
Soil Moisture Anomaly Index (SMAI)	Συνθήκες εδαφικής υγρασίας, δυνητική εξατμισοδιαπνοή, δυνητική απορροή	Υδρο-γεωργικός
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Δορυφορικές εικόνες	Φυσικών πόρων, γεωργικός

Λόγω των ιδιοτήτων του κλίματος, της υδρολογίας και των συστημάτων διαχείρισης των υδάτινων πόρων κάθε χώρας, υπάρχει η τάση σημαντικής διαφοροποίησης των δεικτών μεταξύ χωρών, καθώς και η ανάπτυξη από πολλά κράτη ειδικών (ad hoc) για δική τους μόνον εφαρμογή (Dalezios, 2011).

Ο χαρακτηρισμός της ξηρασίας απαιτεί επιλογή μεθόδων προσδιορισμού της ξηρασίας και των δεικτών ξηρασίας που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να περιγράψει με σαφή τρόπο η χωροχρονική εξέλιξη του φαινομένου. Ο συνδυασμός δεικτών είναι συνήθως η επιλογή που συνιστάται.

Οι πιο γνωστοί δείκτες είναι αυτοί που σχετίζονται με την βλάστηση οι οποίοι έχουν μεγάλη χρησιμότητα και ανήκουν στις πιο συχνά χρησιμοποιημένες εφαρμογές. Οι δείκτες βλάστησης είναι αδιάστατοι και εκμεταλλεύονται τη διαφορά της ανάκλασης μεταξύ της ορατής και κοντινής υπέρυθρης περιοχής. Οι δείκτες βλάστησης αποτελούν τρόπο εκτίμησης της υγείας της βλάστησης. Ένας δείκτης βλάστησης κατασκευάζεται από το συνδυασμό των ψηφιακών τιμών σε διάφορες φασματικές περιοχές (διάλυτοι), οι οποίες προστίθενται, διαιρούνται ή πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να παράγεται μια μοναδική τιμή για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, η οποία φανερώνει την ποσότητα της υγιούς βλάστησης που υπάρχει σε αυτό (Καρτάλης κ.α., 2018). Αλλαγές στο δείκτη βλάστησης αντικατοπτρίζουν και την εξέλιξη της παραγωγικότητας της γης. Ως εκ τούτου, ο δείκτης βλάστησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης παρακολούθησης της ερημοποίησης της γης και των δυναμικών αλλαγών που πραγματοποιούνται. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλαπλοί δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται στη δορυφορική τηλεπισκόπηση, ενώ καθένας εξ' αυτών δίνει έμφαση στις διαφορές της ραδιομετρίας ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά (πυκνότητα βιομάζας, υγρασία) της υπό μελέτη βλάστησης. Ενδεικτικά, οι βασικότεροι δείκτες είναι ο απλός λόγος SR ή VI (Simple Ratio Index ή Vegetation Index), ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς NDVI (Normalized Different Vegetation Index), ο δείκτης υπέρυθρου II (Infrared Index) και ο δείκτης έλλειψης υγρασίας MSI (Moisture Stress Index), ο Διορθωμένος Δείκτης Εδαφών SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), ο βελτιωμένος δείκτης βλάστησης EVI (Enhanced Vegetation Index). Οι δείκτες που αναφέρθηκαν αποτελούν συνδυασμό κατά βάση δυο φασματικών καναλιών (Sileos et al., 2006).

2.7.2 Ο ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI

Υπάρχουν πολλοί δείκτες βλάστησης, αλλά αυτός που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, λόγω των αρκετά αξιόπιστων τιμών του, είναι ο NDVI. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) είναι ένας απλός αριθμητικός δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση τηλεπισκοπικών μετρήσεων συνήθως αλλά όχι μόνο, από δορυφορικά συστήματα καταγραφής, και για να αξιολογήσει κατά πόσο ο στόχος που παρατηρείται περιέχει ζωντανή πράσινη βλάστηση ή όχι και σε ποια

κατάσταση βρίσκεται η συγκεκριμένη βλάστηση. Επίσης εφαρμόζεται σε περιπτώσεις παρακολούθησης φαινομένου ξηρασίας. (Ιωακειμίδης, 2012).

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία και ορίζεται ως η αναλογία μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού σύμφωνα με τη σχέση:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Το εύρος τιμών του δείκτη είναι από -1 έως 1 (Πίνακας 1.2). Περιοχές με πυκνή και υγιή βλάστηση επιστρέφουν υψηλές τιμές NDVI λόγω της υψηλής ανακλαστικότητάς τους στο εγγύς υπέρυθρο. Αντιθέτως, το νερό (ταμιευτήρες φυσικοί και τεχνητοί – θάλασσα), τα σύννεφα, το χιόνι εμφανίζουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο ορατό απ' ό,τι στο εγγύς υπέρυθρο και συνεπώς οι τιμές του δείκτη είναι αρνητικές. Βραχώδεις και άγονες επιφάνειες παρουσιάζουν παρόμοια ανακλαστικότητα και σχεδόν μηδενικούς δείκτες βλάστησης (Liu et al., 2016).

Η σπουδαιότητα του NDVI ανάγεται στο γεγονός ότι είναι ενδεικτικός του βαθμού της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της υπό παρακολούθηση βλάστησης. Μετά από αντίξοες συνθήκες, αναμένεται σημαντική μείωση του NDVI στο πεδίο και οι τιμές αποκρίνονται στην έλλειψη στοιχείων χλωροφύλλης και άρα σε μειωμένη κατά πολύ φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Wang, 2001).

Πίνακας 1.2: Ενδεικτικές τιμές του δείκτη NDVI σε διάφορες μορφές κάλυψης εδάφους (Δαλέζιος, 2002).

ΤΥΠΟΣ ΕΛΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ	NDVI scaled (σε κλίμακα -1 έως 1)	NDVI (σε κλίμακα 0 - 255)
Πυκνή βλάστηση	$0,5 \leq \text{NDVI} \leq 1$	$210 \leq \text{NDVI} \leq 255$
Μέτρια πράσινη βλάστηση	$0,140 \leq \text{NDVI} < 0,500$	$118 \leq \text{NDVI} < 210$
Αραιή βλάστηση	$0,090 \leq \text{NDVI} < 0,140$	$105 \leq \text{NDVI} < 118$
Γυμνό έδαφος (οργωμένο ή βραχώδες)	$0,025 \leq \text{NDVI} < 0,090$	$88 \leq \text{NDVI} < 105$
Νέφη	$0,002 \leq \text{NDVI} < 0,025$	$83 \leq \text{NDVI} < 88$
Χιόνι και πάγος	$-0,046 \leq \text{NDVI} < 0,002$	$70 \leq \text{NDVI} < 83$
Νερό	$-1 \leq \text{NDVI} < -0,046$	$0 \leq \text{NDVI} < 70$

Ωστόσο, στα μειονεκτήματα του δείκτη περιέχονται τα δείγματα κορεσμού σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης καθώς και υπερεκτίμηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις βλάστησης εξαιτίας της ανακλαστικότητας του εδάφους. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

2.7.3 ΛΟΙΠΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς εδάφους (Normal Difference Soil Index) NDSI χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χαρακτηριστικών στο έδαφος και ο τύπος του είναι:

$$NDSI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

όπου,

NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

SWIR: Μήκος Κύματος στα Μικροκύματα.

Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (Normal Difference Water Index) NDWI χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χαρακτηριστικών του νερού και ο τύπος του είναι:

$$NDWI = \frac{(RED - SWIR)}{(RED + SWIR)}$$

όπου,

SWIR: Μήκος Κύματος στα Μικροκύματα.

RED: Μήκος Κύματος στο Ερυθρό.

Από τους δείκτες NDSI, NDWI και κυρίως από τον NDVI προέκυψαν και άλλοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την καλύτερη κατανόηση των υπό μελέτη φαινομένων, αλλά και για να διορθώσουν σφάλματα που εμφανίζονται σε αυτούς τους δείκτες. Παρακάτω θα γίνει μια αναφορά σε δείκτες που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό.

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Υγρασίας Βλάστησης (Normalized Vegetation Moisture Index).

$$NVMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

SWIR: Μήκος Κύματος στα Μικροκύματα.

Ο Δείκτης Εδαφικής Ρύθμισης Βλάστησης (Soil-Adjusted Vegetation Index).

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} * (1 + L)$$

NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

RED: Μήκος Κύματος στο Ερυθρό.

L: Μεταβλητή με τιμές 0 (πλήρης φυτοκάλυψη) έως 1 (καθόλου φυτοκάλυψη).

Ο Δείκτης Αναλογικής Βλάστησης (Simple Ratio Ratio Vegetation Index).

$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

RED: Μήκος Κύματος στο Ερυθρό.

Ο Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης στο πράσινο (Green Normalized Difference Vegetation Index).

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$$

NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

GREEN: Μήκος Κύματος στο Πράσινο.

Ο Δείκτης Χλωροφύλλης Βλάστησης (Chlorophyll Vegetation Index).

$$CVI = \frac{NIR}{GREEN} * \frac{RED}{GREEN}$$

NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

RED: Μήκος Κύματος στο Ερυθρό.

GREEN: Μήκος Κύματος στο Πράσινο.

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Αναλογίας Καύσης (Normalized Burn Ratio Index).

$$NBRI = \frac{(NIR - MIR)}{(NIR + MIR)}$$

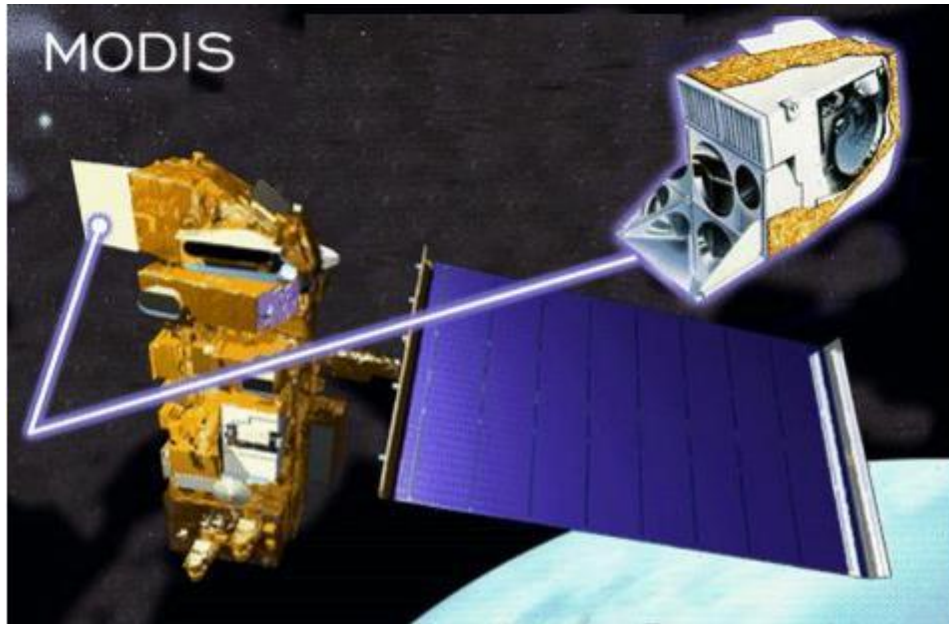
NIR: Μήκος Κύματος στο Εγγύς Υπέρυθρο.

MIR: Μήκος Κύματος στο Μέσο Υπέρυθρο. (Szalai, 2000)

2.8 ΤΟ ΦΑΣΜΑΤΟΡΑΔΙΟΜΕΤΡΟ MODIS

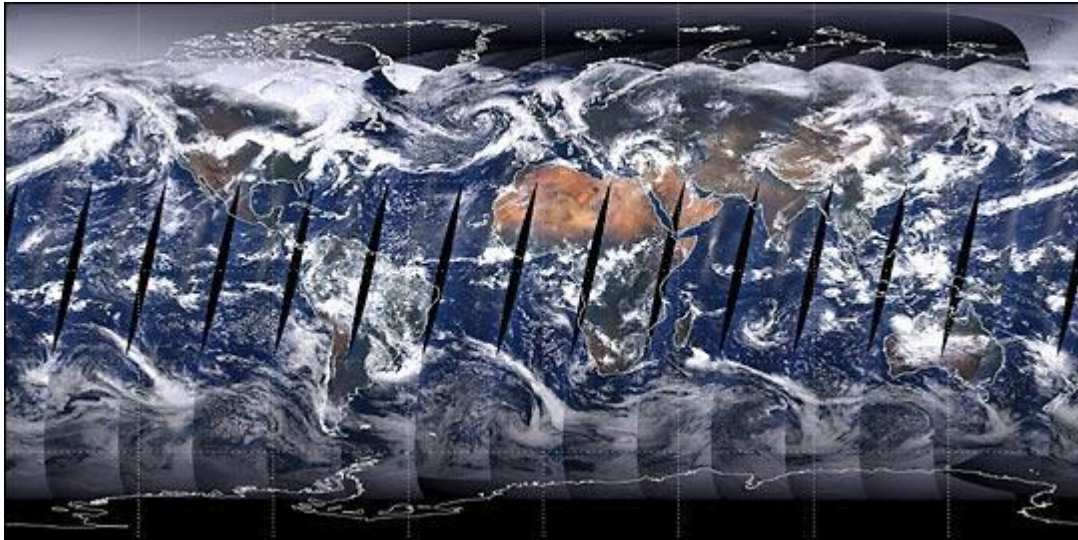
Ο παθητικός αισθητήρας MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) είναι αισθητήρας Μέτριας Ανάλυσης Απεικονιστικού Φασματοραδιομέτρου και τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη το 1999 από τη NASA, ως μέρος της αποστολής «NASA Earth Observing System (EOS)». Το πρώτο όργανο πτήσης MODIS, Protoflight Model (PFM) είναι ενσωματωμένο στο διαστημικό σκάφος Terra (EOS AM-1), που εκτοξεύθηκε επιτυχώς στις 18 Δεκεμβρίου του 1999. Το δεύτερο όργανο πτήσης MODIS flight 1 (FM1) είναι

ενσωματωμένο στο διαστημικό σκάφος Aqua (EOS OM-1) και εκτοξεύθηκε επιτυχώς στις 4 Μαΐου του 2002.



Εικόνα 3. Το Φασματοραδιόμετρο MODIS (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>)

Η τροχιά του Terra γύρω από τη Γη συγχρονίζεται έτσι ώστε να περνά από βόρεια προς τα νότια εγκάρσιως του Ισημερινού το πρωί, ενώ ο Aqua περνά από νότια προς τα βόρεια εγκάρσιως του Ισημερινού το απόγευμα. Από το Φεβρουάριο του 2000 λαμβάνονται ημερησίως δεδομένα για όλη την επιφάνεια της υφελίου σε μέση χωρική διακριτική ικανότητα αλλά με υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα και επαναληψιμότητα λήψεων. Πλέον, με τα ραδιόμετρα MODIS συλλέγονται δεδομένα 4 φορές την ημέρα σε 36 φασματικές ζώνες και καλύπτεται όλη η επιφάνεια της γης σε μία ημέρα (Εικόνα 4), με χωρική διακριτική ικανότητα 250m (VIS φασματικά κανάλια 1 και 2), 500m (NIR φασματικά κανάλια 3-7), 1km (φασματικά κανάλια 8-36) ενώ το εύρος κάλυψής του είναι 2.330km (Παρχαρίδης, 2015).



Εικόνα 4: Ο αισθητήρας MODIS σαρώνει την γήινη επιφάνεια στη διάρκεια μιας ημέρας (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>)

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά του ραδιομέτρου MODIS, το καθιστούν σημαντικό επιστημονικό εργαλείο για τη μελέτη της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, αφού χρησιμοποιείται ευρέως για την αποτύπωση των ειδών κάλυψης γης και των μεταβολών της και ακόμη, επιτρέπει την παρατήρηση βιοφυσικών και βιοχημικών παραμέτρων των ωκεανών. Τα δεδομένα αυτά βελτιώνουν την κατανόηση των επιστημόνων για τις διαδικασίες που συμβαίνουν στη γη, στους ωκεανούς και στη κατώτερη ατμόσφαιρα. Το σύστημα MODIS συνδράμει στην ανάπτυξη επικυρωμένου, παγκόσμιου συστήματος γήινων μοντέλων που θα είναι σε θέση να προβλέψει με ακρίβεια παγκόσμιες αλλαγές αρκετές για να παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για τη λήψη κατάλληλων αποφάσεων πολιτικής προστασίας του περιβάλλοντος (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

Στους επόμενους πίνακες αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του MODIS (Πίνακας 1.3) και οι εφαρμογές που προτείνονται για κάθε φασματικό κανάλι (Πίνακας 1.4).

Πίνακας 1.3: Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά των MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)

Specifications	
Orbit	705 km, 10:30 a.m. descending node (Terra) or 1:30 p.m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, near-polar, circular
Scan rate	20.3 rpm, cross track
Swath	2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)
Dimensions	
Telescope	17.78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop
Size	1.0 × 1.6 × 1.0 m
Weight	228.7 kg
Power	162.5 W (single orbit average)
Data rate	10.6 Mbit/s (peak daytime); 6.1 Mbit/s (orbital average)
Quantization	12 bits
Spatial Resolution	250 m (bands 1–2) 500 m (bands 3–7) 1000 m (bands 8–36)
Design life	6 years

Πίνακας 1.4: Εφαρμογές των MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)

Band	Wavelength (nm)	Resolution (m)	Primary Use	Band	Wavelength (μm)	Resolution (m)	Primary Use
1	620–670	250	Land/Cloud/Aerosols Boundaries	20	3.660–3.840	1000	Surface/Cloud Temperature
2	841–876	250		21	3.929–3.989	1000	
3	459–479	500	Land/Cloud/Aerosols Properties	22	3.929–3.989	1000	
4	545–565	500		23	4.020–4.080	1000	
5	1230–1250	500		24	4.433–4.498	1000	Atmospheric Temperature
6	1628–1652	500		25	4.482–4.549	1000	
7	2105–2155	500		26	1.360–1.390	1000	Cirrus Clouds Water Vapor
8	405–420	1000	27	6.535–6.895	1000		
9	438–448	1000	Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	28	7.175–7.475	1000	Cloud Properties
10	483–493	1000		29	8.400–8.700	1000	
11	526–536	1000		30	9.580–9.880	1000	Ozone
12	546–556	1000		31	10.780–11.280	1000	Surface/Cloud Temperature
13	662–672	1000		32	11.770–12.270	1000	
14	673–683	1000		33	13.185–13.485	1000	Cloud Top Altitude
15	743–753	1000		34	13.485–13.785	1000	
16	862–877	1000		35	13.785–14.085	1000	
17	890–920	1000		36	14.085–14.385	1000	
18	931–941	1000		Atmospheric Water Vapor			
19	915–965	1000					

2.8.1 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ MODIS

Υπάρχουν πολλά τυποποιημένα προϊόντα του δορυφορικού συστήματος MODIS, που χρησιμοποιούνται από επιστήμονες σε μελέτες που αφορούν τις παγκόσμιες αλλαγές. Αυτά τα προϊόντα χρησιμοποιούνται από επιστήμονες που ανήκουν σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της ωκεανογραφίας, της βιολογίας και της ατμοσφαιρικής επιστήμης. Έχουν δημιουργηθεί κάποιες βασικές κατηγορίες που περιλαμβάνουν τα 44 αυτά προϊόντα, με βάση το αντικείμενο στο οποίο βρίσκουν χρησιμότητα. Οι πληροφορίες σχετικά με τις κατηγορίες των προϊόντων αλλά και τα ίδια τα προϊόντα που ακολουθούν έχουν συλλεχθεί από την ιστοσελίδα της NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

2.8.1.1 Προϊόντα Βαθμονόμησης (Calibration)

Για την παραγωγή αυτής της κατηγορίας των υψηλής ποιότητας προϊόντων βαθμονόμησης, υπεύθυνη είναι η ομάδα MCST (MODIS Characterization Support Team). Η MCST είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη και διατήρηση του προϊόντος αναφοράς (λογισμικό L1B), την εκτέλεση των πτήσεων και την υποστήριξη του Instrument Systems Manager.

Το λογισμικό L1B μετατρέπει τα ανεπεξέργαστα δεδομένα σε βαθμονομημένα προϊόντα. Η ομάδα MCST ανέπτυξε τον L1B αλγόριθμο και όλες τις παραμέτρους, που είναι αναγκαίες για την εκτέλεση του κώδικα και διασφαλίζει την ποιότητα και συντελεί στον έλεγχο βελτίωσης του προϊόντος. (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα εξής προϊόντα :

1. MOD 01 - Level-1A Radiance Counts
2. MOD 02 - Level-1B Calibrated Geo location Data Set
3. MOD 03 - Geolocation Data Set

2.8.1.2 Ατμοσφαιρικά Προϊόντα

Υπάρχουν έξι (επιπέδου – 2) προϊόντα Ατμόσφαιρας, που συλλέγονται από τις πλατφόρμες Terra και Aqua τα οποία είναι :

1. MOD04_L2 (Terra) and MYD04_L2 (Aqua)-Aerosol Product
2. MOD05_L2 (Terra) and MYD05_L2 (Aqua)-Water vapor Product
3. MOD06_L2 (Terra) and MYD06_L2 (Aqua)-Cloud Product
4. MOD07_L2 (Terra) and MYD07_L2 (Aqua)-Atmosphere Profile Product
5. MOD35_L2 (Terra) and MYD35_L2 (Aqua)-Cloud Mask Product
6. MODATML2 (Terra) and MYDATML2 (Aqua) Joint Atmosphere Product

2.8.1.3 Προϊόντα Γης

Το σύστημα MODIS παρέχει ένα μέσο για την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης. Οι υψηλής ποιότητας, συνεπείς και καλά βαθμονομημένες δορυφορικές μετρήσεις είναι αναγκαίες προκειμένου να εντοπιστούν οι αλλαγές και οι τάσεις στις εκάστοτε υπό μελέτη μεταβλητές. Τα προϊόντα είναι:

- MOD 09 - Surface Reflectance, Atmospheric Correction Algorithm Products
- MOD 11 - Land Surface Temperature and Emissivity
- MOD 12 - Land Cover/Land Cover Change
- MOD 13 - Gridded Vegetation Indexes (NDVI & EVI)
- MOD 14 - Thermal Anomalies - Fires and Biomass Burning
- MOD 15 - Leaf Area Index (LAI) and Fractional Photosynthetically Active Radiation
- MOD 16 - Evapotranspiration
- MOD 17 - Vegetation Production, Net Primary Productivity (NPP)
- MOD 43 - Surface Reflectance BRDF/Albedo Parameter
- 10.MOD 44 - Vegetation Cover Conversion

2.8.1.4 Προϊόντα Κρυόσφαιρας

Η National Snow and Ice Data Center (NSIDC) αποκτά και διανέμει προϊόντα επιπέδου 2 και 3 για κάλυψη χιονιού και πάγου της θάλασσας, από τον MODIS. Τα προϊόντα είναι :

- MOD 10 - Snow Cover
- MOD 29 - Sea Ice Cover

2.8.1.5 Προϊόντα Ωκεανών

Τα προϊόντα, Ocean Color και Sea Surface Temperature (SST) του MODIS-Aqua (Επιπέδου-2 και Επιπέδου -3), υποβάλλονται σε επεξεργασία και διανέμονται από την Ocean Biology Processing Group (OBPG). Αυτά είναι :

- MOD 18, MOD 19, MOD 20, MOD 21, MOD 22, MOD 23, MOD 24, MOD 25
- MOD 26 - Ocean Water Attenuation Coefficient
- MOD 27 - Ocean Primary Productivity
- MOD 28 - Sea Surface Temperature
- MOD 36 - Total Absorption Coefficient
- MOD 37 - Ocean Aerosol Properties

➤ MOD 39 - Clean Water Epsilon

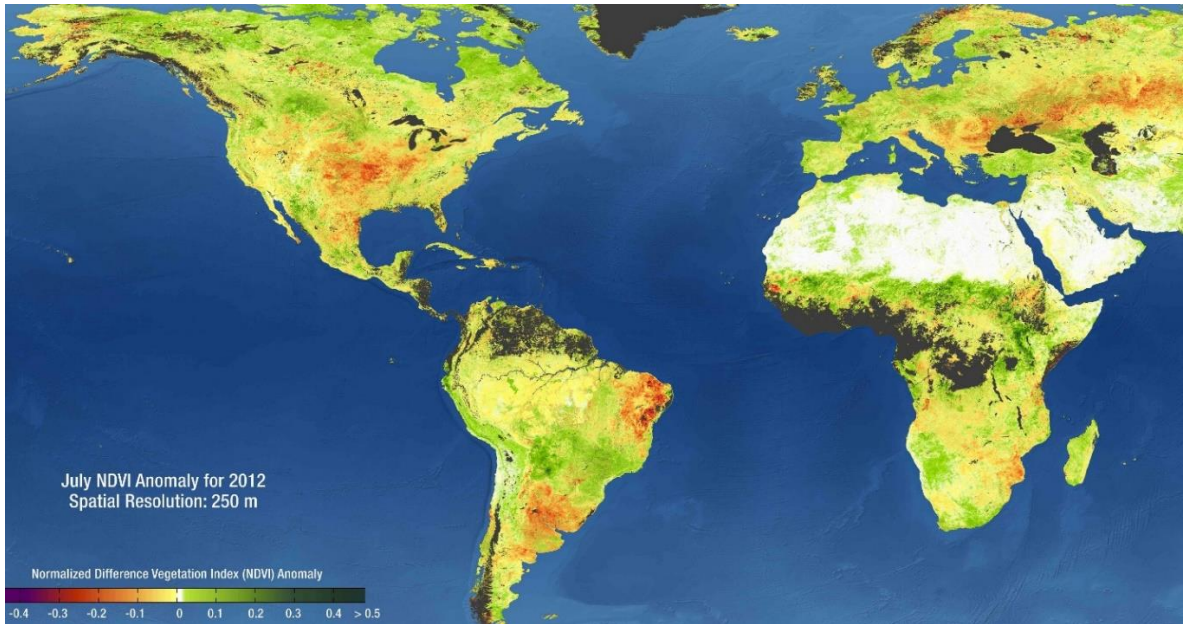
Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα προϊόντα που διατίθενται δεν εκδίδονται όλα με ίδια περίοδο, κάποια για παράδειγμα παρουσιάζουν περίοδο 8 ημερών ενώ άλλα 16 ημερών, ενώ ακόμα και η διακριτική τους ικανότητα ποικίλει (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

2.8.2 ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ MODIS

Τα προϊόντα του MODIS μεταφέρονται σε επίγειους σταθμούς στο White Sands, του Νέο Μεξικό μέσω του Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). Έπειτα τα δεδομένα αποστέλλονται στο EOS Data and Operations System (EDOS) στο Goddard Space Flight Center. Τα προϊόντα που υπάγονται στις κατηγορίες Level 1A, Level 1B, geolocation και cloud mask, καθώς και τα υψηλότερου επιπέδου (Higher-level) προϊόντα για την ξηρά και την ατμόσφαιρα παράγονται από το MODIS Adaptive Processing System (MODAPS), τα προϊόντα που αφορούν τον ωκεανό παράγονται από το Ocean Color Data Processing System (OCDPS) και τελικά όλα διανέμονται στην επιστημονική και όχι μόνο κοινότητα. Όσον αφορά τη διάθεση των προϊόντων, οι πηγές ποικίλουν, όπως ήδη περιγράφηκε από το στάδιο παραγωγής τους. Τα Level 1 και ατμοσφαιρικά προϊόντα διατίθενται μέσω του δικτύου LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System) της NASA στην ιστοσελίδα <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>. Τα προϊόντα για την ξηρά είναι διαθέσιμα μέσω του Land Processes DAAC στο U. S. Geological Survey EROS Data Center (EDC) και στο διαδικτυακό τόπο <http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp>. Τα δεδομένα που αφορούν τα προϊόντα για την κρύοσφαιρα διατίθενται από το National Snow and Ice Data Center (NSIDC) στο Boulder του Colorado και διαδικτυακά στην ιστοσελίδα <http://nsidc.org/daac/modis/index.html>. Τέλος, τα προϊόντα που σχετίζονται με τον ωκεανό είναι διαθέσιμα από το Goddard Space Flight Center της NASA μέσω της διεύθυνσης <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Όσον αφορά στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση, αποτελούν την ταυτόχρονη εφαρμογή θεωρητικής φυσικής, μαθηματικών διαδικασιών και πιθανών υπολογισμών, ώστε να επιτευχθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για τη μετατροπή των τιμών ακτινοβολίας που λαμβάνονται από τον αισθητήρα σε γεωφυσικές ποσότητες. Η επιστημονική ομάδα της NASA για τον MODIS έχει αναπτύξει και βελτιώσει στην πάροδο του χρόνου τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται σε όλα τα επίπεδα – Level 1, Level 2, Level 3 (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

2.8.3 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI ΩΣ ΠΡΟΪΟΝ MODIS

Οι παγκόσμιοι δείκτες βλάστησης του MODIS έχουν σχεδιασθεί για να παρέχουν συνεκτική χωρική και χρονική σύγκριση των συνθηκών βλάστησης. Τα κανάλια του μπλε, κόκκινου και εγγύς υπέρυθρου, με κέντρα τα 469-νανόμετρα, 645-νανόμετρα, και 858-νανόμετρα αντίστοιχα, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των δεικτών βλάστησης του συστήματος MODIS. Ο δείκτης MODIS Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) συμπληρώνει τα Advanced NOAA Very High Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI προϊόντα και προσφέρεται για τις εφαρμογές συνεχούς χρονολογικής σειράς. Το MODIS NDVI προϊόν υπολογίζεται από ατμοσφαιρικά διορθωμένες επίγειες αντανακλάσεις όπου έχουν περικοπεί το νερό, τα σύννεφα οι σκιές των σύννεφων. Τα στοιχεία του προϊόντος MOD13A1 παράγονται κάθε 16 ημέρες, σε 500-μέτρων χωρική ανάλυση, ως πλεγματοποιημένα επιπέδου-3 προϊόντα στην ημιτονοειδή προβολή. Υπάρχουν και άλλα προϊόντα όπως το MOD13A2 που παράγεται κάθε 16 μέρες με ανάλυση 1km, το MOD13A3 που παράγεται κάθε μήνα με ανάλυση 1 km. Οι εν λόγω δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται για την παγκόσμια παρακολούθηση των συνθηκών βλάστησης και την εκτίμηση της ξηρασίας και σε προϊόντα που φέρουν την κάλυψη της γης και τις αλλαγές στην κάλυψη της γης. Αυτά τα δεδομένα δύναται να αποτελέσουν την εισροή στη μοντελοποίηση των παγκόσμιων υδρολογικών διεργασιών. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για το χαρακτηρισμό χερσαίας επιφάνειας βάσει βιοφυσικών ιδιοτήτων και διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της πρωτογενούς παραγωγής και της μετατροπής της κάλυψη γης (<http://modis.gsfc.nasa.gov>). Τα προϊόντα – Δείκτες Βλάστησης της έκδοσης – 5 MODIS/Terra έχουν επικυρωθεί σε δεύτερο στάδιο, πράγμα που σημαίνει ότι η ακρίβεια έχει εκτιμηθεί κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης σε σύνολο θέσεων και χρονικών περιόδων σειράς με διάφορα επίγεια μέσα. Τα προϊόντα είναι έγκυρα και διαθέσιμα δωρεάν για χρήση σε επιστημονικές δημοσιεύσεις (<http://modis.gsfc.nasa.gov>).



Εικόνα 5. Το προϊόν του MODIS, MOD13A2 – NDVI (<https://lpdaac.usgs.gov/products/>)

2.8.4 ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΟ ΔΕΙΚΤΗ NDVI

Οικοσυστήματα όπως τα λιβάδια της Ανατολικής Αφρικής, της Βορείου Αμερικής και της στεπικής λωρίδας γης νότια της ερήμου Σαχάρα στην Αφρική ονόματι Σαχέλ, είναι εξαιρετικά παραδείγματα εφαρμογής του δείκτη NDVI για την παρατήρηση του φαινομένου της ξηρασίας. Αυτό συμβαίνει επειδή η φενολογία της τοπικής βλάστησης, συμβαδίζει με τον κύκλο βροχοπτώσεων του έτους (Justice et al., 1985, Nicholson et al., 1990, Ji και Peters, 2004). Κατά συνέπεια, δημιουργήθηκε ένα πρωτότυπο σύστημα παρακολούθησης ξηρασίας για τη Β. Αμερική χρησιμοποιώντας το δείκτη NDVI ως πρωτεύον δεδομένο (Brown et al., 2002, 2008). Το προϊόν αυτό γνωστό ως Vegetation Drought Response Index (VegDRI) που στα ελληνικά μεταφράζεται ως Δείκτης Απόκρισης Βλάστησης στην Ξηρασία, χρησιμοποιείται πλέον σε εφαρμογές ολόκληρης της Β. Αμερικής (Wardlow et al., 2009). Ο VegDRI χρησιμοποιεί δορυφορικά δεδομένα NDVI του δέκτη AVHRR σε συνδυασμό με κλιματικούς δείκτες ξηρασίας και άλλα βιοφυσικά χαρακτηριστικά (όπως η κάλυψη και χρήση γης, το υψόμετρο κ.α.). Με αυτά τα δεδομένα, παράγονται χάρτες οπτικοποίησης διαφορετικών επιπέδων ξηρασίας που δείχνουν την επίδραση της ξηρασίας στην κατάσταση της βλάστησης.

Ένα άλλο σύστημα παρακολούθησης αναπτύχθηκε για την ανατολική και νοτιοανατολική Ασία. Το σύστημα αναλύει τις τρέχουσες συνθήκες βλάστησης (όπως προκύπτουν από το

δείκτη NDVI) και δεδομένα βροχοπτώσεων συγκρίνοντας μεσοδιαστήματα 10 ημερών με μακροπρόθεσμους μέσους των αντίστοιχων παραμέτρων σε μια προσπάθεια να εντοπιστούν περιοχές που υπόκεινται σε ξηρασία και η επίδραση στη βλάστηση (Song et al., 2004). Το συγκεκριμένο αλλά και πολλά άλλα εθνικά συστήματα παρακολούθησης και προειδοποίησης φαινομένου ξηρασίας βασίζονται εκτενώς στις προσπάθειες του διεθνούς οργανισμού United States Agency for International Development (USAID) ο οποίος από το 1985 είχε ξεκινήσει την προσπάθεια ανάπτυξης συστήματος παρακολούθησης και προειδοποίησης επερχόμενων λιμών (Famine Early Warning System – FEWS NET) που προέρχονται από φαινόμενα ξηρασίας και την συνεπαγόμενη απώλεια πρωτογενούς φυτικής παραγωγής. Ο USAID σε συνεργασία με την NASA, το United States Geological Survey (USGS) και το National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) πέτυχανε τη δημιουργία του FEWS NET του συστήματος παρακολούθησης για τις υπο – Σαχάριες περιοχές της Αφρικής. Το FEWS NET πλέον έχει αναπτυχθεί και συμπεριλαμβάνει μεταξύ άλλων την κεντρική Αμερική, το Αφγανιστάν και την Αϊτή.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών «Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)», δημιούργησε το σύστημα “Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture (GIEWS), το οποίο βασίζεται ήδη ανεπτυγμένο, από 1988, σύστημα με το κωδικό όνομα “ARTEMIS”. Το σύστημα Artemis – Africa Real-Time Environmental Monitoring Information System παρέχει σχεδόν άμεση ανάλυση δεδομένων AVHRR NDVI και εικόνες βροχόπτωσης του Ευρωπαϊκού «Meteosat» για την Αφρική ανά 10 ημέρες. Οι αναλυτές του συστήματος GIEWS έχοντας πρόσβαση στα δεδομένα από το 1988, έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν περιοχές που ιστορικά είναι αποδέκτες μικρού ύψους βροχής. Δυο ακόμα παραδείγματα παγκοσμίως που χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα NDVI για την παρακολούθηση φαινομένων ξηρασίας είναι τα προϊόντα (επεξεργασμένες δορυφορικές εικόνες) βλάστησης του κέντρου EROS - Earth Resources Observation and Science (ivm.cr.usgs.gov) του USGS και το Αυστραλιανό σύστημα παρακολούθησης (bom.gov.au/sat/NDVI/NDVI2.shtml).

2.8.4.1 Το ευρωπαϊκό παρατηρητήριο για την ξηρασία

Το ευρωπαϊκό παρατηρητήριο για την ξηρασία (European Drought Observatory – EDO) είναι μια υπηρεσία που υπάγεται στο Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η διαδικτυακή πύλη του EDO περιέχει πληροφορίες, γραφήματα και χρονοσειρές σχετικά με

την ξηρασία σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα για δωρεάν λήψη για ανάλυση εκτός σύνδεσης. Το EDO παρέχει επίσης ένα εργαλείο που καθιστά δυνατή τη σύγκριση μεταξύ διαφόρων δεικτών ή τη σύγκριση μεταξύ των τιμών του ίδιου δείκτη σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Η παρακολούθηση της ξηρασίας βασίζεται στην ανάλυση μιας σειράς δεικτών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν διαφορετικά στοιχεία του υδρολογικού κύκλου (π.χ. βροχοπτώσεις, υγρασία του εδάφους, στάθμη ταμιευτήρων, ροή ποταμών, στάθμη υπόγειων υδάτων) ή συγκεκριμένες επιπτώσεις (π.χ. καταπόνηση της βλάστησης από λειψυδρία) που σχετίζονται με έναν συγκεκριμένο τύπο ξηρασίας (Copernicus.eu, 2020).

2.8.4.2 Σχέδιο διαχείρισης ξηρασίας της Κύπρου

Τα Σχέδια Διαχείρισης Ξηρασίας συμβάλουν καθοριστικά στην αποτελεσματική, αποδοτική και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων και για αυτό τον λόγο αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της Υδατικής Πολιτικής στην Κύπρο, μία χώρα που μαστίζεται από συχνές και παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας. Η πολιτική για την αντιμετώπιση και αποτελεσματική διαχείριση της ξηρασίας αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της Υδατικής Πολιτικής Κύπρου. Το εργαλείο για την ποσοτικοποίηση και έγκαιρη διάγνωση της ξηρασίας είναι ένα σύστημα δεικτών ξηρασίας οι οποίοι καθορίζονται με βάση ιστορικά υδρομετεωρολογικά στοιχεία. Οι τιμές των δεικτών διακυμαίνονται εντός συγκεκριμένου εύρους παρέχοντας έτσι πληροφορίες για την ύπαρξη, την ένταση και τη διάρκεια της ξηρασίας σε μία περιοχή. Βασικά, οι δείκτες ξηρασίας συνοψίζουν τα αποτελέσματα σύνθετων και πολύπλοκων αναλύσεων ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων σε λίγες, απλές και ευκολονόητες τιμές που δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την ύπαρξη ή μη, την ένταση, τη διάρκεια και το γεωγραφικό εύρος της ξηρασίας. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν στους διαχειριστές των υδατικών πόρων να επιλέγουν και να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα και δράσεις για έγκαιρη και αποτελεσματική διαχείριση και αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων της ξηρασίας.

Με βάση τις τιμές των δεικτών ξηρασίας το Σχέδιο Διαχείρισης Ξηρασίας της Κύπρου ενεργοποιεί συγκεκριμένες και προδιαγραμμένες δράσεις που έχουν στόχο την έγκαιρη αντιμετώπιση ή/και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων επερχόμενης ξηρασίας στη δυνατότητα κάλυψης των υδατικών αναγκών της χώρας. Συγκεκριμένα οι ενέργειες και οι αρμόδιες υπηρεσίες που προβλέπονται ανά επίπεδο σημαντικότητας ξηρασίας είναι (Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Κύπρου, 2017):

Ήπια Ξηρασία

- Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)
- Ενημέρωση χρηστών για αυξημένη προσοχή στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Μεγιστοποίηση ύδρευσης από αφαλατώσεις. (ΥΔΡΕΥΣΗ)
- Απολήψεις από τα μεγάλα έργα σύμφωνα με το δείκτη αποθεμάτων. (ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ)

Μέτρια Ξηρασία

- Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)
- Ενημέρωση χρηστών για αυξημένη προσοχή στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Μεγιστοποίηση ύδρευσης από αφαλατώσεις. (ΥΔΡΕΥΣΗ)
- Δημοσιοποίηση κατάστασης και εντατικοποίηση του προγράμματος ενημέρωσης του κοινού. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Εντατικοποίηση ελέγχων για περιορισμό ανεξέλεγκτων απολήψεων και αντλήσεων, καθώς και περιορισμό σπατάλης. (ΕΠΑΡΧΙΑΚΑ ΓΡΑΦΕΙΑ)
- Απολήψεις από τα μεγάλα έργα σύμφωνα με το δείκτη αποθεμάτων. (ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ)

Υψηλή Ξηρασία

- Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)
- Ενημέρωση χρηστών για μείωση στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Μεγιστοποίηση ύδρευσης από αφαλατώσεις. (ΥΔΡΕΥΣΗ)
- Δημοσιοποίηση κατάστασης και εντατικοποίηση του προγράμματος ενημέρωσης του κοινού. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Εντατικοποίηση ελέγχων για περιορισμό ανεξέλεγκτων απολήψεων και αντλήσεων, καθώς και περιορισμό σπατάλης. (ΕΠΑΡΧΙΑΚΑ)
- Απολήψεις από τα μεγάλα έργα, σύμφωνα με το δείκτη αποθεμάτων, αλλά όχι περισσότερες από αυτές που αντιστοιχούν στη δράση «σημαντικές περικοπές» (ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ)
- Υπολογισμός του δείκτη μηνιαίας διαίτας και λήψη μέτρων σχετικά με τις ανάντη απολήψεις εφόσον είναι απαραίτητο (δείκτης μικρότερος του 5%). (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)

Εξαιρετικά υψηλή

- Ενημέρωση αρμόδιων λειτουργών. (ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ)
- Ενημέρωση χρηστών για μείωση στην κατανάλωση. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Μεγιστοποίηση παραγωγής μονάδων αφαλατώσεων, όπου είναι δυνατή η ταμίευση της περίσσειας. (ΥΔΡΕΥΣΗ) Δημοσιοποίηση κατάστασης και εντατικοποίηση του προγράμματος ενημέρωσης του κοινού. (ΔΗΜΟΣΙΟΤΗΤΑ)
- Εντατικοποίηση ελέγχων για περιορισμό ανεξέλεγκτων απολήψεων και αντλήσεων, καθώς και περιορισμό σπατάλης. (ΕΠΑΡΧΙΑΚΑ)
(Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Κύπρου, 2017)

2.8.4.3 Σχέδιο διαχείρισης ξηρασίας Θεσσαλίας

Υπενθυμίζεται ότι η ξηρασία – σε αντίθεση με την λειψυδρία – είναι ένα φυσικό και απρόβλεπτο φαινόμενο, το οποίο δεν προκαλείται από ανθρώπινη παρέμβαση. Ωστόσο, οι επιπτώσεις ενός επεισοδίου ξηρασίας εξαρτώνται από το βαθμό εκμετάλλευσης ενός υδάτινου πόρου σε μια λεκάνη απορροής και μπορεί να είναι ιδιαίτερα αρνητικές σε περιπτώσεις μη ορθολογικής χρήσης νερού (για παράδειγμα μη βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης υδάτινων πόρων). Ορισμένα, στοχευμένα μέτρα αντιμετώπισης και πρόληψης ξηρασίας μπορεί να ληφθούν με στόχο τη σταδιακή μείωση των επιπτώσεων ενός επεισοδίου ξηρασίας αλλά δεν υπάρχουν μέτρα που θα αποτρέψουν την εμφάνιση της ξηρασίας.

Τα μέτρα για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων από ξηρασία και λειψυδρία διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμα (re-active) και σε μακροπρόθεσμα (pro-active). Τα βραχυπρόθεσμα μέτρα, τα οποία εφαρμόζονται επιτόπου με την έλευση ενός επεισοδίου ξηρασίας ενώ τα μακροπρόθεσμα στοχεύουν στην ορθή χρήση των υδάτινων πόρων υπό συνθήκες ξηρασίας. Αναλυτικά τα μέτρα βρίσκονται δημοσιευμένα στην ιστοσελίδα του υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Υ.ΠΕ.ΘΕ – Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας (www.ypethe.gr).

2.9 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ CHIRPS

Η ποσότητα της βροχής που παρέχεται στην επιφάνεια του εδάφους μετρείται σε χιλιοστά (mm) ύψους του υδάτινου στρώματος το οποίο σχηματίζει. Αν δηλαδή, το νερό της βροχής, ή το νερό που προέρχεται από την τήξη του χιονιού ή του χαλαζιού δεν απορροφάται από το έδαφος, δεν εξατμίζεται, και δεν ρέει στο έδαφος, θα σχηματίσει ένα υγρό οριζόντιο στρώμα νερού. Το πάχος του στρώματος αυτού σε χιλιοστά, εκφράζει ποσοτικά τη βροχή που έπεσε σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Η βροχόπτωση είναι ασυνεχές μέγεθος και δεν είναι δυνατόν να βρέχει την ίδια στιγμή σε όλο τον πλανήτη. Το σύνολο της βροχής που πέφτει σε μια μέρα ονομάζεται ημερήσια βροχόπτωση. Το μέγεθος αυτό καλύπτει το χρονικό διάστημα 0-24 ώρες ή συνήθως το διάστημα 20η ώρα της προηγούμενης μέχρι την 20η ώρα της επόμενης ημέρας. Το άθροισμα των ημερήσιων βροχοπτώσεων σε ένα μήνα ονομάζεται μηνιαία βροχόπτωση ή μηνιαίο ύψος. Τέλος, το σύνολο της βροχής που πέφτει στους 12 μήνες ενός έτους ονομάζεται ετήσια βροχόπτωση ή ετήσιο ύψος βροχής.

Το χρονικό εύρος διαθεσιμότητας των προϊόντων ξεκινά από το 1981 μέχρι και σήμερα, όπου ανανεώνονται συνεχώς. Τα προϊόντα CHIRPS αναπτύχθηκαν για να υποστηρίξουν τον Οργανισμό Ηνωμένων Πολιτειών για το δίκτυο International Development Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET). Τα κύρια σύνολα δεδομένων για την κατασκευή του προϊόντος CHIRPS περιλαμβάνουν την μηνιαία βροχόπτωση κλίματος CHPclim (Climate Hazards Group Precipitation Climatology), που δημιουργείται χρησιμοποιώντας σταθμούς μέτρησης βροχής που συλλέγονται από τον FAO και GHCN, τις πληροφορίες Cold Cloud Duration (CCD) που βασίζονται σε θερμικά υπέρυθρα δεδομένα (TIR) που έχουν αρχειοθετηθεί από το CPC και το NOAA Rainfall Estimate (RFE2), το National Climate Data Center (NCDC), τα Version 7 TRMM 3B42 δεδομένα, τα Version 2 atmospheric model rainfall field from the NOAA Climate Forecast System (CFS), και τέλος τους επίγειους σταθμούς βροχής από πολλές πηγές. Πρώτον, τα δεδομένα CCD βαθμονομούνται με τα TRMM 3B42 για τη δημιουργία 5-ημερήσιων εκτιμήσεων υετού, που βασίζονται σε CCD, οι οποίες μετατρέπονται περαιτέρω στα κλάσματα των μακροπρόθεσμων εκτιμήσεων μέσης βροχόπτωσης. Τα κλάσματα στη συνέχεια, πολλαπλασιάζονται με δεδομένα CHPclim για να αφαιρεθεί το systematic bias, και το προϊόν που παράγεται ονομάζεται προϊόν CHIRP. Τέλος, το προϊόν CHIRP συνδυάζεται με δεδομένα σταθμών βροχής, χρησιμοποιώντας έναν τροποποιημένο αλγόριθμο αντίστροφης στάθμισης απόστασης για την παραγωγή των CHIRPS. Η επεξεργασία που αναφέρθηκε παραπάνω, εκτελείται στα 5-ημερήσια χρονικά

διαστήματα. Τα ημερήσια δεδομένα CCD και τα καθημερινά δεδομένα CFS χρησιμοποιούνται τελικά, για να διαχωρίσουν τα προϊόντα 5-ημερών σε ημερήσιες εκτιμήσεις νετού χρησιμοποιώντας μια απλή μέθοδο αναδιανομής (Chuai, 2013). Το προϊόν CHIRPS ανήκει στην κατηγορία «δορυφορικά δεδομένα μέτρησης» (“satellite-gauge”). Καθημερινά προϊόντα CHIRPS σε χωρική ανάλυση 0,05 ° και 0,25 ° διατίθενται από τον ιστότοπο που αναφέρεται παραπάνω. Τα προϊόντα CHIRPS σε ανάλυση 0,05° για την περίοδο 2001-2020 χρησιμοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη. Τα δεδομένα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, περιλαμβάνουν τρεις διαφορετικούς τύπους πληροφοριών: α) παγκόσμια δεδομένα για το κλίμα, β) δορυφορικές εκτιμήσεις και γ) επιτόπιες παρατηρήσεις. (Funk, et al., 2013).

2.10 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (Land Surface Temperature - LST), είναι μια από τις βασικές παραμέτρους στη φυσική των διαδικασιών της διεπιφάνειας εδάφους - ατμόσφαιρας, τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα, που συνδυάζουν τα αποτελέσματα όλων των αλληλεπιδράσεων και των ενεργειακών ροών μεταξύ της ατμόσφαιρας και του εδάφους (Guohui et. al, 2020). Μία από τις σημαντικότερες πιθανές εφαρμογές της LST, που ανακτάται από τα δορυφορικά δεδομένα, είναι η αξιολόγηση και βελτίωση του μοντέλου της παγκόσμιας μετεωρολογικής πρόβλεψης έπειτα από κατάλληλη παραμετροποίηση (Akhoondzadeh et al., 2008). Επιπροσθέτως, η LST μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ξηρασίας και τον υπολογισμό της εδαφολογικής υγρασίας της επιφάνειας (Ali et al., 2021). Εκτός της αναγκαιότητας ανάκτησης της LST, η ακτινοβολία της επιφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση και κατηγοριοποίηση της βλάστησης. Δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας από το προϊόν MODIS: LST MOD11A2 χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ώστε να διερευνηθεί η χωρική συσχέτιση μεταξύ επιφανειακής θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και δείκτη βλάστησης NDVI.

2.11 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Στο πλαίσιο υλοποίησης του ερευνητικού κεφαλαίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για την επεξεργασία και οπτικοποίηση των δορυφορικών δεδομένων και ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμο να αφιερωθεί ένα υποκεφάλαιο στα ΓΣΠ. Στη βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα αναφορών που

αφορούν στον ορισμό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) ή Geographical Information Systems (G.I.S.). Μερικοί από αυτούς δίνονται στη συνέχεια. Ένα Γ.Σ.Π. είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη συλλογή, αποθήκευση, το μετασχηματισμό και την απεικόνιση χωρικών δεδομένων του πραγματικού κόσμου για ένα συγκεκριμένο σκοπό (Chopra, 2006). Ως Γ.Σ.Π. ορίζεται ακόμα ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφορίας σχετικής με φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο (Χατζόπουλος, 2012) ή ως ένα σύστημα για την συλλογή, αποθήκευση, τον έλεγχο και τη διαχείριση, την ανάλυση και την προβολή δεδομένων τα οποία αναφέρονται σε συγκεκριμένες, με ακρίβεια χωρικά ορισμένες, περιοχές της γης (Τσακνάκης, 2005).

Σημαντική δυνατότητα αυτών των συστημάτων, που τα διαφοροποιεί από τη συνήθη απεικόνιση των δεδομένων, είναι η δυνατότητα συνδυασμού μη όμοιων δεδομένων σε μια κοινή βάση δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικές με το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης, τα χαρακτηριστικά και τα στοιχεία που την απαρτίζουν (Τσακνάκης, 2005).

2.11.1 ΓΣΠ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Τα ΓΣΠ έχουν άμεση σχέση με τη ψηφιακή απεικόνιση δεδομένων, αφού υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής των τηλεπισκοπικών παράγωγων, μέσω της ψηφιακής μορφής τους, σε περιβάλλον ΓΣΠ. Η συνεργασία των δεδομένων Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, μπορεί να επιτευχθεί σε τέσσερις μορφές, αφού:

- α) Ένα ΓΣΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ποικίλων τύπων δεδομένων,
- β) η ανάλυση που προσφέρουν τα ΓΣΠ και οι μέθοδοι επεξεργασίας τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάλυση ψηφιδωτών δεδομένων,
- γ) τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές στοιχείων για τα ΓΣΠ και
- δ) τα δεδομένα των ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάλυση της εικόνας, προκειμένου να εξαχθούν πιο πλήρεις και ακριβείς πληροφορίες από τα φασματικά στοιχεία (Ιωακειμίδης, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Οι μεθοδολογίες που εφαρμόζονται για την παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας ομαδοποιούνται σε αυτές που χρησιμοποιούν επίγεια δεδομένα (site-based indices) (Liu et al., 2016) και σε αυτές που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα (remote sensing-based indices).

Οι δείκτες ξηρασίας που βασίζονται σε επίγεια δεδομένα (ground based indices) όπως ο Standardized Precipitation Index (SPI) (Livada et al., 2007 και Bokusheva et al., 2016), ο Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), και ο Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Dantur et al., 2015) υπολογίζονται με μετεωρολογικά δεδομένα. Πρόκειται για αναγνωρισμένους δείκτες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εντοπισμού περιοχών ξηρασίας σε περιφερειακό επίπεδο. Όμως, οι εν λόγω δείκτες, προκύπτουν από κλιματικά δεδομένα (climatic data) όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία που αδυνατούν να αποκαλύψουν πλήρως την επίδραση της ξηρασίας στην κάλυψη γης σε περιφερειακό επίπεδο και είναι πολύ πιθανό να μην υπάρχει διαθεσιμότητα τους εγκαίρως για την παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας και την επακόλουθη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, οι επίγειες μετρήσεις και λήψεις δεδομένων είναι τεχνικές, χρονοβόρες και κοστοβόρες (Vancutsem et al., 2009). Πλέον, τα δορυφορικά δεδομένα διαδραματίζουν όλο και σημαντικότερο ρόλο στη δημιουργία δεικτών και την παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας παγκοσμίως (Qin et al., 2008). Κατά συνέπεια, οι τεχνικές παρακολούθησης ξηρασίας που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα, αποτελούν πλέον αξιόπιστο μέσο με χαμηλό κόστος και σε σύντομο χρονικό διάστημα από την επεξεργασία μέχρι την λήψη αποτελεσμάτων (Vaani et al., 2017).

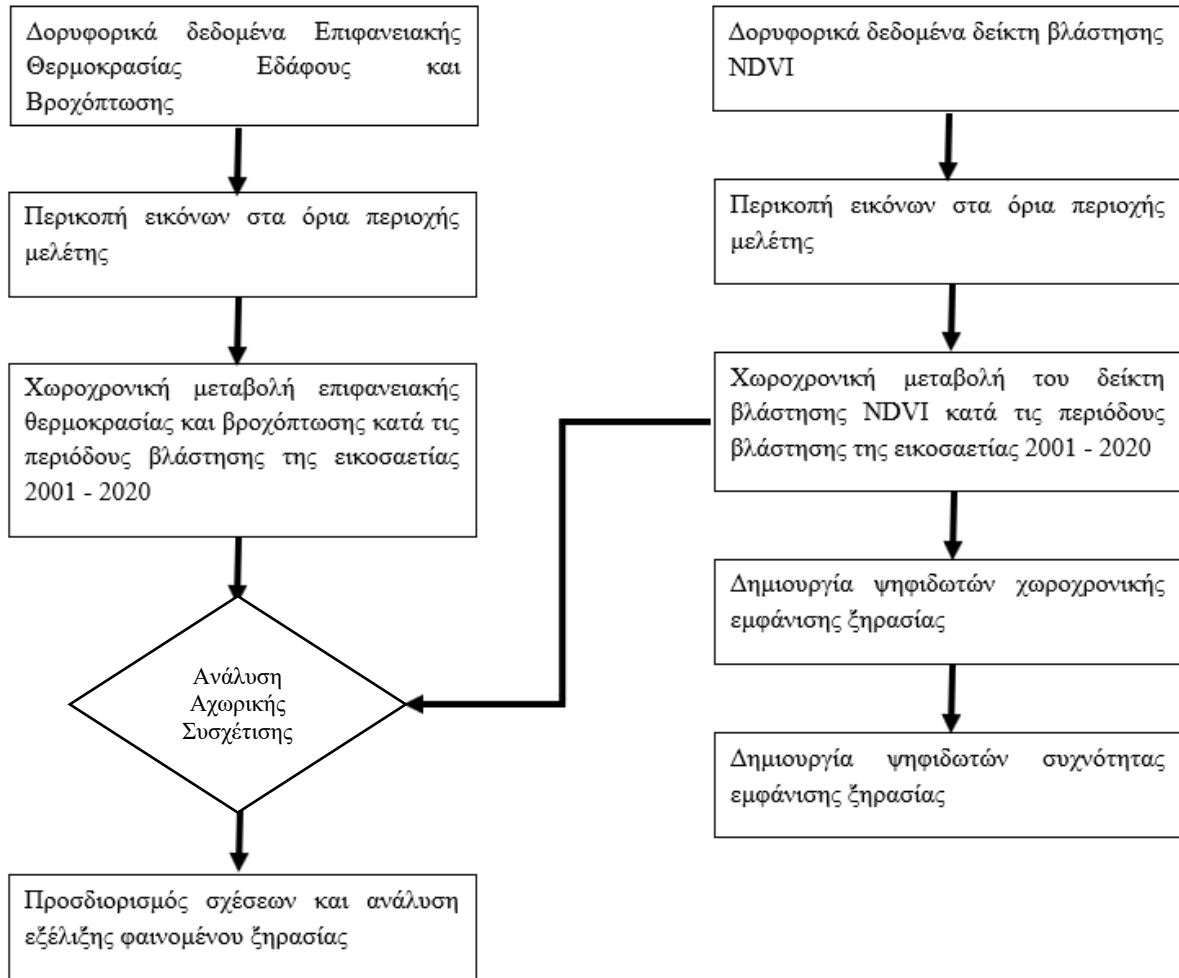
Οι δημοφιλέστεροι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ευρύτατα παγκοσμίως για την παρακολούθηση φαινομένων ξηρασίας είναι ο Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) και ο Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Ανάμεσα στους δείκτες βλάστησης ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών (πχ κατάσταση χορτολιβαδικών εκτάσεων, υποβάθμιση της γης, ερημοποίηση και ξηρασία) (Cammalleri et al., 2019). Επίσης, ο NDVI έχει χρησιμοποιηθεί για την εύρεση συσχέτισης ανάμεσα στην κατάσταση της βλάστησης την περίοδο της άνοιξης και την ξηρασία

(Lkhagvadorj et al., 2019). Οι Ji και Peters (2003) χρησιμοποίησαν τον NDVI για να μελετήσουν την επίδραση της ξηρασίας στα Great Plains των ΗΠΑ που εκτείνονται δυτικά του ποταμού Μισισσιπή και ανατολικά των Βραχωδών Όρων (Rocky Mountains) με εμβαδό $1,3 \times 10^6 \text{ km}^2$. Υπάρχει πληθώρα δημοσιευμένων μελετών που έχουν χρησιμοποιήσει εκτενώς τον δείκτη NDVI για τον εντοπισμό, την παρακολούθηση και την εκτίμηση του φαινομένου της ξηρασίας κατά την τελευταία δεκαετία (Bokusheva et al., 2016 και Wan et al., 2004).

3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1.1 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Η ξηρασία είναι προσωρινό χαρακτηριστικό του κλίματος (Wilhite et al., 2014). Οι Thus, Li et al. (2014) σημειώνουν ότι οι μεταβολές του δείκτη NDVI (NDVI anomaly) εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, όπως είναι η εικοσαετία που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, αποτελούν αρκετά ακριβή μέθοδο παρακολούθησης της ξηρασίας σε σχέση με την παρατήρηση της εκάστοτε τιμής του (Anyamba et al., 2001; Bayarjargal et al., 2006; Chopra, 2006; Krishna et al., 2009; Li et al., 2014; Vaani and Porchelvan, 2017). Στο διάγραμμα 1.3 δίνεται διαγραμματικά η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Διάγραμμα 1.3: Διάγραμμα ροής της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας (Lkhagvadorj et.al., 2019).

Τα δορυφορικά δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους που αναφέρονται στο διάγραμμα 1.3 προέρχονται από το προϊόν MODIS: LST MOD11A2 έχουν χωρική ανάλυση 1 km και χρονική ανάλυση 16 ημερών (περίοδος 16 ημερών). Τα δορυφορικά δεδομένα βροχόπτωσης προέρχονται από προϊόντα CHIRPS σε χωρική ανάλυση 0,05° και χρονική ανάλυση ενός μήνα. Όσον αφορά στα δεδομένα δείκτη βλάστησης, είναι δεδομένα NDVI από το δέκτη MODIS και συγκεκριμένα το προϊόν MOD13Q1. Τα level-3 MOD13Q1 προϊόντα, αντιστοιχούν σε 16ήμερες συνθέσεις του συγκεκριμένου δείκτη βλάστησης με χωρική ευκρίνεια 250 m.

3.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI.

Η χωροχρονική μεταβολή του δείκτη NDVI (NDVI anomaly) είναι η απλούστερη και πιο κοινά χρησιμοποιούμενη μέθοδος παρακολούθησης ξηρασίας χρησιμοποιώντας των

μακροπρόθεσμο μέσο όρο της τιμής του δείκτη NDVI για κάθε εικονοστοιχείο της δορυφορικής εικόνας σε κάθε δεδομένη ορισμένη στιγμή. (Anyamba and Tucker, 2012). Η θετική τιμή που προκύπτει για κάποιο εικονοστοιχείο συνεπάγεται κανονικές συνθήκες – μη ξηρασία δηλαδή – ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν κατάσταση ξηρασίας στη συγκεκριμένη περιοχή κατά την εν λόγω χρονική περίοδο (Vaani και Porchelvan, 2017). Η μεθοδολογία για τη λήψη της χωροχρονικής μεταβολής του δείκτη NDVI κατά την περίοδο βλάστησης κάθε έτους, έχει ως εξής:

Αρχικά, υπολογίζεται η μέση τιμή του NDVI (NDVI mean) για την περίοδο Μάιος – Σεπτέμβριος (περίοδος βλάστησης) για κάθε χρόνο της επιλεχθείσας περιόδου ετών σύμφωνα με την εξίσωση:

$$NDVI_{mean\ i} = NDVI_1 + NDVI_2 + \dots + NDVI_n)/n$$

Όπου $NDVI_{mean\ i}$ είναι η μέση τιμή NDVI της περιόδου Μαΐου – Σεπτεμβρίου για το έτος i και $NDVI_1$ είναι οι τιμές της εικόνας του πρώτου 16ημέρου και $NDVI_n$ είναι οι τιμές της εικόνας του τελευταίου 16ημέρου της περιόδου Μαΐου – Σεπτεμβρίου για το έτος i .

Μετά τον υπολογισμό του $NDVI_{mean}$ για κάθε περίοδο βλάστησης της επιλεχθείσας περιόδου ετών, υπολογίζεται ο ολικός μέσος των $NDVI_{mean}$

$$\overline{NDVI} = \sum_{i=1}^n \frac{NDVI_{mean\ i}}{n}$$

όπου n ο συνολικός αριθμός των ετών.

Εν συνεχεία, η εποχική χωροχρονική μεταβολή του δείκτη NDVI υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (3) για κάθε εικονοστοιχείο της περιοχής μελέτης (Anyamba et al., 2001):

$$NDVI_{anomaly\ i} = \frac{NDVI_{mean\ i} - \overline{NDVI}}{\overline{NDVI}}$$

Όπου $NDVI_{anomaly\ i}$ είναι η εποχική χωροχρονική μεταβολή του δείκτη NDVI για το έτος i .

Κατόπιν πραγματοποιείται ταξινόμηση των εικόνων σε συγκεκριμένες κλάσεις σύμφωνα με την ένταση φαινομένου ξηρασίας ανά εικονοστοιχείο όπως έχει προταθεί από τους Vaani και Porchelvan (2017) και παρατίθεται στον πίνακα 1.5.

Πίνακας 1.5: Ταξινόμηση των εικόνων σε κλάσεις σύμφωνα με την ένταση φαινομένου ξηρασίας ανά εικονοστοιχείο (Vaani and Porchelvan, 2017)

Επίπεδο ξηρασίας	Τιμές χωροχρονικής μεταβολής δείκτη βλάστησης NDVI
1. Πολύ σοβαρό	κάτω από -50%
2. Σοβαρό	-25% με -50%
3. Μεσαίο	-10% με -25%
4. Ήπια ξηρασία	0 με -10%
5. Κανονικές συνθήκες	Άνω του 0

3.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Τα διαφορετικά επίπεδα συχνότητας ξηρασίας υπολογίζονται με την εξίσωση (Qian et al., 2016):

$$f_i = \frac{n_i}{N}$$

όπου f_i η συχνότητα εμφάνισης ξηρασίας για κάθε επίπεδο ξηρασίας i , n ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές συναντάται το επίπεδο ξηρασίας i στο εκάστοτε εικονοστοιχείο, κατά τη διάρκεια της εικοσαετούς περιόδου παρατήρησης και N ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

3.1.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI (NDVI anomaly) ΜΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ.

Σε αρκετές περιπτώσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας έχει αποδειχθεί η χωρική και χρονική συσχέτιση ανάμεσα στην χωροχρονική μεταβολή του δείκτη NDVI (NDVI anomaly) και των κλιματικών μεταβλητών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης (Wan et al., 2004). Η

ανάλυση χρονικής συσχέτισης έχει δείξει θετική συσχέτιση του NDVI με τη βροχόπτωση και αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία. Όσον αφορά στη χωρική συσχέτιση υπάρχει διαφορετική εικόνα ανάλογα με τον τύπο της κάλυψης γης. Ο NDVI συσχετίζεται θετικά με τη βροχόπτωση σε χορτολιβαδικές εκτάσεις αλλά αρνητικά σε δασώδεις περιοχές. Επιπλέον, συσχέτιση του NDVI με την επιφανειακή θερμοκρασία είναι αρνητική με εξαίρεση τις δασώδεις περιοχές όπου η συσχέτιση είναι θετική (Lkhagvadorj et al., 2019). Ο NDVI προτιμάται για ολική φυτική παρακολούθηση διότι αντισταθμίζει μερικά τις αλλαγές των συνθηκών φωτισμού, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό θέσης. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται θεωρητικά από -1 έως +1, όπως εξάγεται από τη μαθηματική εξίσωση που προαναφέρθηκε. Τιμές άνω του μηδενός υποδηλώνουν την ύπαρξη πράσινης βλάστησης (χλωροφύλλης) ή γυμνού εδάφους (τιμές γύρω στο μηδέν), ενώ κάτω του μηδενός δηλώνουν την ύπαρξη νερού, χιονιού, πάγου και νεφών (Song et al., 2004).

3.1.5.1 PEARSONS CORRELATION

Στο παρών υποκεφάλαιο δίνονται τα στοιχειώδη στοιχεία της ανάλυσης συσχέτισης Pearson's, η οποία χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της εργασίας για τον εντοπισμό χωρικών συσχετίσεων ανάμεσα στο δείκτη NDVI, την επιφανειακή θερμοκρασία και το ύψος βροχόπτωσης. Το πιο γνωστό λοιπόν, μέτρο της εξάρτησης μεταξύ δύο ποσοτήτων είναι ο συντελεστής συσχέτισης συνδιακύμανσης Pearson, ή "Pearson συντελεστής συσχέτισης" ή απλά, "ο συντελεστής συσχέτισης". Είναι το πηλίκο της διαίρεσης της συνδιακύμανσης των δύο μεταβλητών με το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων. Στην παρούσα μελέτη επειδή έχουμε μια σειρά από n μετρήσεις των x και y γραμμένες ως x_i και y_i για $i = 1, 2, \dots, n$, τότε ο δειγματικός συντελεστής συσχέτισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του πληθυσμιακού συντελεστή συσχέτισης Pearson r μεταξύ x και y .

Ο δειγματικός συντελεστής συσχέτισης γράφεται:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

όπου \bar{x} και \bar{y} είναι ο δειγματικός μέσος των x και y και s_x και s_y είναι οι δειγματικές τυπικές αποκλίσεις των x και y .

Συγκεκριμένα, $r_{\chi\psi}$ είναι ο συντελεστής συσχέτισης, n είναι το εύρος της χρονοσειράς και i είναι ο αύξων αριθμός τους έτους από το 2001 έως το 2020 (1-20). x_i και ψ_i είναι η χωροχρονική μεταβολή του δείκτη NDVI και η τιμή ενός κλιματικού παράγοντα κατά το έτος i , x_{mean} και y_{mean} είναι η εποχική μέση τιμή 20ετίας του δείκτη NDVI και ενός κλιματικού παράγοντα αντιστοίχως από το 2001 έως το 2020. Εάν η τιμή του $r_{x,y}$ είναι μεγαλύτερη του μηδενός, προκύπτει θετική σχέση ενώ αν είναι μικρότερη του μηδενός, πρόκειται για αρνητική σχέση. Η τιμή μηδέν υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων (Tong et al., 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ - ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι το ηπειρωτικό τμήμα της Περιφέρειας Θεσσαλίας, εξαιρέθηκαν δηλαδή από την περιοχή μελέτης τα νησιά των Β. Σποράδων και του παλαιού Τρικεριού καθώς και τα λοιπά μικρά νησιά του Παγασητικού που ανήκουν στην Περιφέρεια Θεσσαλίας όπως η νήσος Πρασούδα τα Μικρά κλπ. όπως συγκεκριμένα απεικονίζεται στον Χάρτη 1 στη συνέχεια.

4.1.1 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΟΡΙΑ

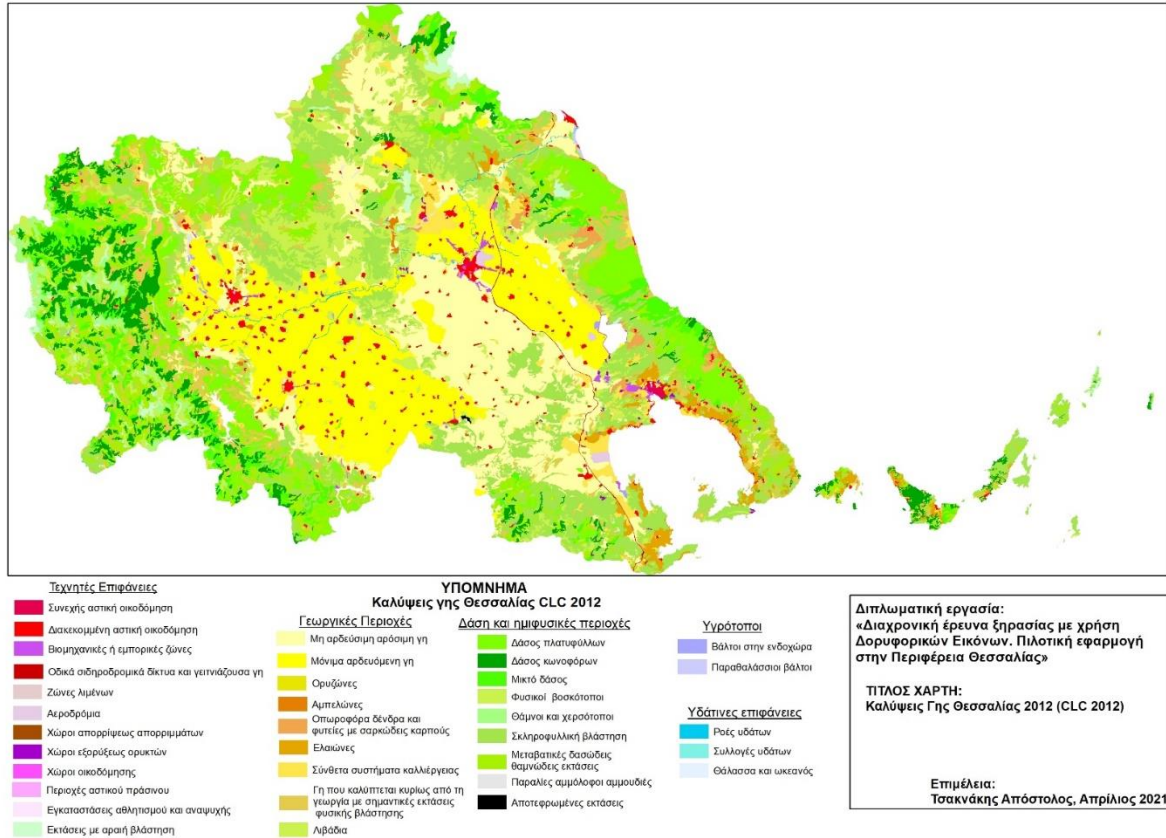
Η Θεσσαλία βρίσκεται σε κεντρική - ανατολική θέση του ηπειρωτικού κορμού της Ελλάδας, με έκταση ίση με 14.037 km² (εκ των οποίων τα 303 νησιωτικά) που αντιστοιχεί στο 10,6% της συνολικής επικράτειας. Περιλαμβάνει τις Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας, Μαγνησίας και Σποράδων, Καρδίτσας και Τρικάλων. Έχει στρατηγική κεντροβαρή και σχετικά εύκολα προσπελάσιμη γεωγραφική θέση, καθώς συνδέεται με το βασικό οδικό και σιδηροδρομικό άξονα της Χώρας (ΠΑΘΕ / Ν – Β) ενώ σε σχετικά μικρή απόσταση από το βόρειο όριο της διέρχεται η Εγνατία Οδός, κύριος άξονας σύνδεσης του Ανατολικού με το Δυτικό τμήμα της χώρας. Η μορφολογία της, με εκτεταμένο πεδινό τμήμα που περιβάλλεται από ορεινούς όγκους και η επαφή με το Αιγαίο Πέλαγος ανατολικά, διευκολύνει την εσωτερική, χωροταξική της συνοχή. Το οικιστικό της δίκτυο είναι συνεκτικό, με συνολικά είκοσι περίπου αστικά και τουριστικά οικιστικά κέντρα και ισχυρές μεσαίες προς μεγάλες πόλεις. Η ορεινή Θεσσαλία έχει έκταση 9.550 km², με ποσοστό επί του συνόλου 33,5%. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m (Πέππας, 2001). Το 36,0% του εδάφους είναι πεδινό, το 17,1% ημιορεινό, ενώ το 44,9% είναι ορεινό. Η εδαφική της διαμόρφωση είναι τέτοια ώστε ψηλά βουνά περιβάλλουν το Θεσσαλικό κάμπο, ο οποίος αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα της χώρας. Η Θεσσαλική πεδιάδα διαρρέεται δυτικά προς τα ανατολικά από τον ποταμό Πηνειό που είναι το τρίτο μεγαλύτερο ποτάμι της χώρας. Τα βουνά που περιβάλλουν την περιοχή είναι ο Όλυμπος, το νότιο τμήμα της οροσειράς της Πίνδου, ο Ιταμός, το Πήλιο και η Όθρυς. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η τεχνητή λίμνη του Ταυρωπού, η οποία δημιουργήθηκε ύστερα από απόφραξη της κοίτης του Ταυρωπού, παραπόταμου του Αχελώου. Η Περιφέρεια Θεσσαλίας έχει αξιόλογο ορυκτό πλούτο όπως χρωμίτη, θειούχα μεταλλεύματα, αμιάντο, ιλμενίτη και τελευταία, ανακαλυφθέντα κοιτάσματα λιγνίτη.



Χάρτης 1: Περιοχή μελέτης – Περιφέρεια Θεσσαλίας, ηπειρωτικό τμήμα (επεξεργασία ιδίου).

4.1.2 ΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΗΣ

Η Θεσσαλία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Ελλάδας και ορίζεται από χαρακτηριστικά φυσικά όρια. Συγκεκριμένα από την ανατολική πλευρά ορίζεται από το Αιγαίο Πέλαγος, τον Όλυμπο και συνορεύει με τον νομό Πιερίας. Προς Βορρά ορίζεται από τον Όλυμπο, Χάσια και συνορεύει με τους νομούς Κοζάνης και Γρεβενών. Προς δυσμάς ορίζεται από την οροσειρά της Πίνδου και συνορεύει με τους νομούς Ιωαννίνων, Άρτας και Ευρυτανίας. Προς Νότο ορίζεται από τα βουνά του Δομοκού, του Παγασητικού κόλπου και συνορεύει με τον νομό Φθιώτιδας.



Χάρτης 2: Χάρτης καλύψεων γης γεωγραφικού διαμερίσματος Θεσσαλίας (επεξεργασία ιδίου).

Όσον αφορά στην κατανομή των βασικών κατηγοριών χρήσεων γης (Χάρτης 2), το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων ανέρχεται στο 36% της συνολικής έκτασης της Περιφέρειας, οι βοσκότοποι αντιπροσωπεύουν το 37% και τα δάση καλύπτουν το 20%. Το υπόλοιπο καταλαμβάνεται από επιφανειακά ύδατα (2%), οικιστική χρήση (4%) και λοιπές εκτάσεις (1%). Οι μεγαλύτερες εκμεταλλεύσιμες δασικές εκτάσεις βρίσκονται στις Περιφερειακές Ενότητες των Τρικάλων και της Καρδίτσας (ποσοστά 31% και 24% αντίστοιχα).

4.1.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΣΤΑΣΗ

Ο Θεσσαλικός χώρος, γεωμορφολογικά διαιρείται στις παρακάτω περιοχές:

- Ορεινή Θεσσαλία.
- Πεδινή Θεσσαλία.
- Θαλάσσια παράκτια ζώνη.
- Νησιά των Βόρειων Σποράδων, τα οποία ανήκουν διοικητικά στη Θεσσαλία.

Ο τριπλός χαρακτήρας της (ορεινός, πεδινός, παραθαλάσσιος) που έχει σαν αποτέλεσμα την διαφορετικότητα της μορφολογίας του εδάφους μεταξύ των Περιφερειακών ενότητων, οδηγεί και σε διαφορετικές συνθήκες εκκίνησης για την κάθε μια από αυτές. Είναι λογικό να αξιοποιεί διαφορετικά συγκριτικά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη του ένα νησί (π.χ. τουρισμός) από μια πόλη που βρίσκεται στον θεσσαλικό κάμπο (γεωργία). Ακόμα, ο τρόπος που είναι διαμορφωμένη η Περιφέρεια επηρεάζει τα μεγέθη των τοπικών αγορών και την προσπελασιμότητα ορισμένων περιοχών ευνοώντας ορισμένες περιφέρειες περισσότερο από κάποιες άλλες δυσχεραίνοντας την επίτευξη της ισόρροπης ανάπτυξης σε Περιφερειακό επίπεδο. Παρόλα αυτά, οι ορεινοί όγκοι, ο μεγάλος κάμπος, τα ποτάμια, οι τεχνητές λίμνες η θάλασσα και το νησιωτικό σύμπλεγμα συνθέτουν ένα περιβάλλον υψηλής αναπτυξιακής δυναμικής.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα συνοψίζονται:

- Στη Γεωγραφική θέση που εξασφαλίζει, για τους επισκέπτες και τους κατοίκους της, σύντομη και άνετη πρόσβαση σε οποιοδήποτε μέρος της χώρας.
- Στις Κλιματολογικές – οικολογικές - περιβαλλοντικές συνθήκες, που επιτρέπουν την ποιοτική παραγωγή προϊόντων.
- Στη Μεγάλη και γόνιμη πεδιάδα, που αποτελεί μια ισχυρή παραγωγική βάση.
- Στην Αξιόλογη ποικιλία οικοσυστημάτων και στο περιβάλλον με ιδιαίτερα υψηλή αισθητική, πολιτιστική και ιστορική αξία και ιδιαίτερο φυσικό κάλλος.

Η ύπαρξη του κύριου αναπτυξιακού άξονα της χώρας Αθήνας – Θεσσαλονίκης που διασχίζει την Περιφέρεια Θεσσαλίας, με κατεύθυνση βορρά-νότο, έχει ως αποτέλεσμα τη διάκριση της Θεσσαλίας σε δύο ενότητες, τη δυτική και την ανατολική. Η ανατολική, περισσότερο αναπτυγμένη, είναι σημαντικός αναπτυξιακός πόλος σε εθνικό επίπεδο και από αυτή διέρχεται ο κύριος αναπτυξιακός άξονας της χώρας Αθήνας-Θεσσαλονίκης επί του οποίου βρίσκονται οι δύο μεγαλύτερες θεσσαλικές πόλεις, Λάρισα και Βόλος. Η δυτική ενότητα, στην οποία ανήκουν οι Π.Ε. Καρδίτσας και Τρικάλων, είναι λιγότερο αναπτυγμένη, έκκεντρη σε σχέση με τον εθνικό άξονα ανάπτυξης, απομονωμένη σε σχέση με το δυτικό τμήμα της χώρας λόγω της ύπαρξης του ορεινού όγκου της Πίνδου.

4.1.4 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι κλιματικές περιοχές καθορίζονται στη Θεσσαλία από το ανάγλυφο δηλαδή από το προσανατολισμό, το υψόμετρο και την έκθεση στους ανέμους. Με βάση αυτό διακρίνονται τρεις κλιματικές περιοχές (Πολίτη, 2017).

α. Η πρώτη κλιματική περιοχή αποτελείται από τα παράλια του Αιγαίου. Χαρακτηριστικά αυτής της περιοχής είναι οι βόρειοι άνεμοι, σημαντική υγρασία ακόμη και κατά την ξηρή περίοδο. Οι χειμώνες είναι σαφώς ηπιότεροι από ότι στη λεκάνη της Θεσσαλίας

β. Η δεύτερη κλιματική περιοχή αποτελείται από τη θεσσαλική λεκάνη. Χαρακτηριστικά αυτής της περιοχής είναι ηπιότεροι άνεμοι δεδομένης της ύπαρξης των ορέων που την περικλείουν, θερμοκρασίες υψηλότερες από την πρώτη κλιματική περιοχή και χειμώνες πολύ βαρείς.

γ. Η τρίτη κλιματική περιοχή αποτελείται από το νησιωτικό τμήμα, όπου το κλίμα μπορεί να θεωρηθεί ως μεσογειακό που χαρακτηρίζεται από ήπιο και βροχερό χειμώνα, σχετικά βροχερή άνοιξη, ζεστό και ξηρό καλοκαίρι και δροσερό και συνήθως βροχερό φθινόπωρο.

Το κλίμα αποτελεί ένα πλεονέκτημα της περιοχής για θερινό τουρισμό όπως και για χειμερινό θεματικό τουρισμό. Οι περιοχές σε πιο δυσμενή θέση ως προς το κλίμα- ως πόρο για τον τουρισμό, είναι η πεδινή Θεσσαλία, η οποία δεν προσφέρει στις περισσότερες περιπτώσεις σημαντικά και αξιόλογα στοιχεία για την ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών τουρισμού, δεδομένου ότι πρόκειται για περιοχές με έντονη αγροτική δραστηριότητα εντατικής μορφής η οποία είναι δύσκολα συμβατή με την ιδέα του αγροτουρισμού.

Η θερμοκρασία στην υπό μελέτη περιοχή με χρονική κλίμακα το 1 έτος δεν ξεπερνά τους 17°0 κατά μέσο όρο. Όσον αφορά στην τιμή του ετήσιου θερμομετρικού εύρους είναι άνω των 22°C. Το φαινόμενο του παγετού είναι αρκετά σύνηθες και η χρονική περίοδος που γίνεται η εμφάνιση του είναι μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου - Απριλίου. Εξετάζοντας τις ημέρες παγετού για την περιοχή της Λάρισας και των Τρικάλων σε μέση ετήσια βάση είναι 35,5 και 33,8 αντίστοιχα. Σαν πιο θερμοί μήνες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ο Ιούλιος και ο Αύγουστος ενώ πιο ψυχροί ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.

Το ύψος των βροχοπτώσεων έχει διάφορες διακυμάνσεις πάνω από την υπό μελέτη περιοχή. Στα δυτικά είναι υψηλό, στο πεδινό τμήμα μειώνεται ενώ στο ορεινό αυξάνεται πάλι. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες τιμές βροχόπτωσης στον πίνακα 1.6. Η πιο βροχερή περίοδος είναι μεταξύ των μηνών Οκτωβρίου - Ιανουαρίου ενώ οι λιγότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο.

Οι χιονοπτώσεις είναι αρκετά συνηθισμένες λόγω του ανάγλυφου της περιοχής. Το ύψος χιονόπτωσης είναι μεγαλύτερο στα ορεινά, όπως είναι αναμενόμενο, και το φαινόμενο είναι πιο έντονο προς τα Βόρεια και τα Ανατολικά του διαμερίσματος. Οι μήνες με τις πιο συχνές χιονοπτώσεις είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος ενώ στο ορεινό τμήμα ξεκινούν από τον Σεπτέμβριο έως τον Ιούλιο.

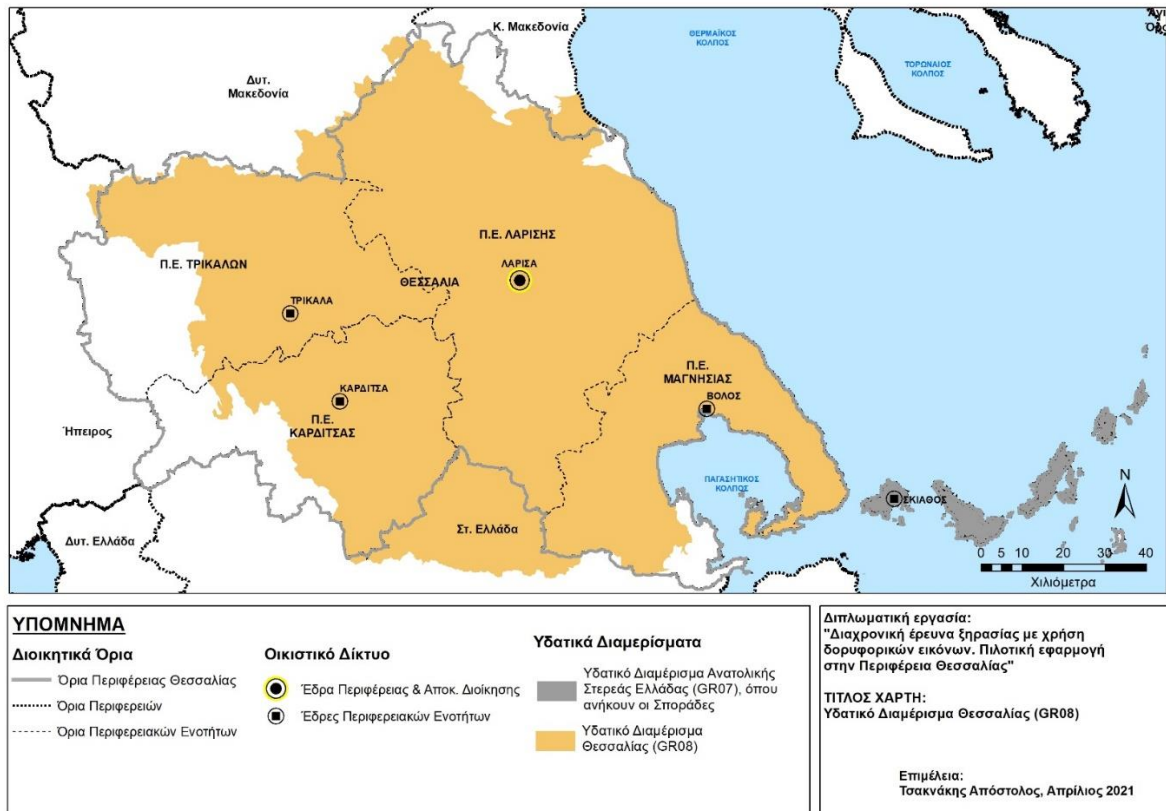
Πίνακας 1.6: Ενδεικτικό ύψος βροχόπτωσης για τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλίας (meteo.gr).

Μετεωρολογικός σταθμός	Ύψος Βροχόπτωσης (mm)
Λάρισα	468
Τύρναβος	550
Μουζάκι	1142

Χαλαζόπτωση εμφανίζεται τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στο Βόρειο τμήμα ενώ στο νοτιοανατολικό το διάστημα μεταξύ Φεβρουαρίου και Απριλίου. Η νέφωση σε μέση ετήσια βάση κυμαίνεται από 4 έως 5 βαθμίδες, οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στα Δυτικά ενώ χαμηλότερες στα ανατολικά. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67%-72%. Οι άνεμοι που πνέουν στη περιοχή δεν χαρακτηρίζονται ως επιζήμιοι για την παραγωγή, αλλά ούτε τόσο ισχυροί που να εμποδίζουν την χρησιμοποίηση της άρδευσης με την μέθοδο του καταιονισμού. Στο νότιο τμήμα της περιοχής εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 έως 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 έως 4 μήνες στα κεντρικά-δυτικά πεδινά και 1 έως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά.

4.1.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τον Νόμο 1739/87 (ΦΕΚ 201/Α'/20-11-1987) με τίτλο: «Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις», η Θεσσαλία αποτελεί το 8^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας όπως αυτό απεικονίζεται στο χάρτη 3.



Χάρτης 3: Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (επεξεργασία ιδίου).

Στην Περιφέρεια Θεσσαλίας συναντώνται τα υδατικά διαμερίσματα της Θεσσαλίας και η Λεκάνη απορροής Σποράδων του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας . Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας αποτελεί ένα από τα 14 Υδατικά διαμερίσματα της χώρας. Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 13.142 km^2 . Οι δύο υδρολογικές λεκάνες του διαμερίσματος είναι οι λεκάνες Πηνειού και Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου (Πίνακας 1.7). Επισημαίνεται ωστόσο ότι η υπολεκάνη του π. Ταυρωπού (Μέγδοβα), ανάντη του φράγματος Πλαστήρα, έκτασης 161 km^2 , αν και υδρολογικά ανήκει σε αυτή του Αχελώου, από διαχειριστική σκοπιά εντάσσεται σε αυτή του Πηνειού (δηλαδή στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας), καθώς το σύνολο, πρακτικά, των υδατικών πόρων της εκτρέπονται προς την πλευρά της Θεσσαλίας.

Πίνακας 1.7: Λεκάνες Απορροής Ποταμού στο ΥΔ Θεσσαλίας (EL08)

Υδατικό Διαμέρισμα	Κωδικός Λεκάνης	Όνομασία Λεκάνης Απορροής Ποταμού	Έκταση (km ²)	Περιφέρειες που εκτείνονται γεωγραφικά εντός των ορίων των ΛΑΠ	Αρμόδια Αποκεντρωμένη Διοίκηση(ΦΕΚ 1572/Β/2010 και Ν.3852/2010
Θεσσαλία (EL08)	EL0816	Πηνειού	11062	Θεσσαλίας 89,96% Στ. Ελλάδα 7,19% Ηπείρου 0,04% Δ. Μακεδονίας 1,76% Κ. Μακεδονίας 1,04%	Θεσσαλίας – Στ. Ελλάδα
	EL0817	Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου	2078	Θεσσαλίας 99,96% Στ. Ελλάδα 0,04%	Θεσσαλίας – Στ. Ελλάδα

Στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας διακρίνονται συνολικά 82 υδάτινα σώματα και ειδικότερα:

- 72 ποτάμια υδάτινα σώματα με μέσο μήκος 19,3 km. Το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου ανέρχεται σε περίπου 1.387 km.
- λιμναία υδάτινα σώματα με μέση επιφάνεια 15,11 km² και συνολική επιφάνεια 45,34 km². Και τα 3 αποτελούν ταμιευτήρες (Ταμιευτήρας Κάρλας, Σμόκοβου και Αργυλοπυλίου).
- 7 παράκτια υδάτινα σώματα με συνολική επιφάνεια 938,86 km².

Η κύρια υδρολογική λεκάνη του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας είναι η λεκάνη του Πηνειού. Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι προς τα νότια ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφιστής, στον οποίο έχει κατασκευαστεί το φράγμα του Σμόκοβου, και ο Καλέντζης (που δέχεται νερά από την εκτροπή του π. Ταυρωπού μέσω του ταμιευτήρα Πλαστήρα), προς τα δυτικά-νοτιοδυτικά ο Πάμισος και ο Πορταϊκός και στο βόρειο μέρος ο Ληθαίος (που διασχίζει την πόλη των Τρικάλων), ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος. Επίσης, η λεκάνη του Πηνειού περιλαμβάνει 3 τεχνητές λίμνες: την τεχνητή λίμνη Σμοκόβου (με

επιφάνεια 9,9 km²), την τεχνητή λίμνη Αργυροπουλίου (με επιφάνεια 0,5 km²) και την τεχνητή λίμνη Κάρλας (με επιφάνεια 34,9 km²). Το κύριο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον στην ΛΑΠ Πηνειού αφορά στις τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες φιλοξενούν υψηλού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες και δευτερευόντως στα καρστικά συστήματα που αναπτύσσονται στην περίμετρο των πεδινών εκτάσεων. Η πεδιάδα της Θεσσαλίας διαχωρίζεται σε δύο κύρια αυτοτελή υδρογεωλογικά κοκκώδη συστήματα: της δυτικής και της ανατολικής πεδιάδας. Αναπτύσσονται επίσης τοπικής σημασίας υδροφορίες στους μεταμορφωμένους γνευσιακούς σχηματισμούς της περιοχής, η υδροφορία των οποίων εκφορτίζεται μέσω σημαντικών πηγών, οι οποίες καλύπτουν τοπικές ανάγκες (Πήλιο, Μαυροβούνι, Όσσα, Χάσια, Κάτω Όλυμπος).

Σύμφωνα με τη Μ.Π.Ε του στην Περιφέρειας Θεσσαλίας πολλά επιφανειακά υδάτινα σώματα βρίσκονται σε καθεστώς υπερβολικής εκμετάλλευσης. Η υπερεκμετάλλευση αυτή αφορά σε απολήψεις κατά την αρδευτική περίοδο, η οποία, σε μεγάλο βαθμό, συμπίπτει με την περίοδο χαμηλών παροχών των ποταμών. Γενικά στη Θεσσαλία εκτιμάται, ότι υπό τις σημερινές συνθήκες διαθεσιμότητας πόρων, δεν είναι δυνατόν να διατεθούν οι αναγκαίες ποσότητες νερού για την κάλυψη της αρδευτικής ζήτησης χωρίς μεγέθη απολήψεων επιφανειακών και υπόγειων νερών, τα οποία οδηγούν στην επιδείνωση της κατάστασης των σωμάτων.

4.1.6 ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Οι σημαντικότεροι φυσικοί πόροι της περιοχής μελέτης, που αξιοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία, είναι το έδαφος και συγκεκριμένα οι πεδινές εύφορες εκτάσεις, καθώς και το υπόγειο και επιφανειακό υδατικό δυναμικό, μέρος του οποίου χρησιμοποιείται προκειμένου να καλύψει αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες.

Η Θεσσαλική πεδιάδα αποτελεί τη μεγαλύτερη ενιαία καλλιεργούμενη έκταση της Ελλάδος. Το εύρος και η σχετικά αδιατάραχτη ομαλότητα της πεδιάδας τη διαφοροποιούν από τη γεωφυσική πολυμορφία που παρουσιάζουν τα περισσότερα ελληνικά τοπία, ενώ ταυτόχρονα διασχίζεται από τον ποταμό Πηνειό και τους παραποτάμους του.

Το υδατογραφικό δίκτυό της Περιφέρειας Θεσσαλίας είναι αρκετά πλούσιο. Υπάρχουν αρκετοί ποταμοί και χείμαρροι που πηγάζουν από τους ορεινούς όγκους της και διασχίζουν την περιφέρεια εκβάλλοντας στο Αιγαίο πέλαγος, με σημαντικότερο όλων τον ποταμό

Πηνειό έναν από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας. Σημαντικές είναι και οι τεχνητές λίμνες οι οποίες δημιουργήθηκαν για τη συγκράτηση υδάτινων πόρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ύδρευση οικισμών σε χαμηλότερο υψόμετρο και την άρδευση καλλιεργήσιμων εδαφών. Σημαντικότερη όλων είναι η Λίμνη Κάρλα που ανασυστάθηκε με νερά από τον Πηνειό ποταμό.

Η Περιφέρεια Θεσσαλίας συγκεντρώνει αξιόλογη ποικιλία οικοσυστημάτων και περιβάλλον ιδιαίτερης αισθητικής και φυσικού κάλους. Εκτός από τον Εθνικό Δρυμό Ολύμπου και το Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκο Αλοννήσου, υπάρχουν εκτεταμένες προστατευόμενες περιοχές με εθνική εμβέλεια όπως η Κοιλάδα των Τεμπών και η περιοχή Μονών Μετεώρων. Μάλιστα στον εθνικό κατάλογο του δικτύου NATURA περιλαμβάνονται συνολικά 26 περιοχές της Περιφέρειας διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό.

Τέλος, στην Περιφέρεια Θεσσαλίας εντοπίζονται σημαντικές μαρμαροφόρες περιοχές, κυρίως κατά μήκος των ορεινών όγκων του ανατολικού τμήματος, τα κοιτάσματα των οποίων αποτελούν σημαντικό πόρο για την περιφέρεια, καθώς το μάρμαρο είναι εξαγωγίμο προϊόν. Στον τομέα των ενεργειακών ορυκτών, διαθέτει αξιοποιήσιμα κοιτάσματα λιγνίτη και εντοπισμένα γεωθερμικά πεδία, η αξιοποίηση των οποίων ενδέχεται να δώσει ενέργεια, ήπιας μορφής, για την κάλυψη τοπικών αναγκών.

4.1.7 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΠΟΡΕΙΑ

Το Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, υπάρχει η μεγαλύτερη πεδινή έκταση της χώρας, που όμως παρουσιάζει ανεπάρκεια στους υδατικούς της πόρους. Σε αυτό βρίσκεται το ιστορικό βιομηχανικό κέντρο του Βόλου, με ειδίκευση στη μεταλλουργική βιομηχανία και η βιομηχανική περιοχή Βόλου, από τις μεγαλύτερες και παλαιότερες στη χώρα. Οι περιοχές αυτές αποτελούν ένα σημαντικό αστικό δίπολο που προσφέρει ανώτερου βαθμού υπηρεσίες και διεθνούς επιπέδου τεχνική υποδομή (οδικός και σιδηροδρομικός άξονας, λιμάνι). Εκτός των παραπάνω, η περιοχή διαθέτει σημαντικά ιστορικά μνημεία όλων των εποχών, σημαντικά τοπία και αξιόλογες ακτές.

Από πλευράς ρύπανσης και αλλοιώσεων των στοιχείων της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ρύπανση του Πηνειού και του Παγασητικού Κόλπου, ενώ αισθητικά οι οικολογικές αλλοιώσεις στα τουριστικώς ανεπτυγμένα σημεία της περιοχής δεν έχουν καταστεί ακόμη κρίσιμες. Κρίσιμο ήταν πάντα και γίνεται όλο και πιο

επιτακτικό το πρόβλημα έλλειψης νερού στο υδατικό διαμέρισμα. Πέρα από τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Λάρισας και του Βόλου, που αποτελούν μία σημαντική αγορά 300.000 κατοίκων σημαντικής εισοδηματικής στάθμης, η Θεσσαλία διαθέτει και μικρότερα δυναμικά αστικά Κέντρα όπως τα Τρίκαλα, η Καρδίτσα, ο Τύρναβος καθώς και 32 ημιαστικά, άμεσα συνδεδεμένα με τις εξελίξεις στον αγροτικό χώρο. Λόγω της κεντρικής του θέσης, το διαμέρισμα συνδέεται άμεσα εκτός από την κεντρική και τη δυτική Μακεδονία και με την Ήπειρο και μέσω αυτών με τις γειτονικές Βαλκανικές χώρες.

Το συσσωρευμένο δυναμικό στο διαμέρισμα και οι σημαντικές δυνατότητες για περαιτέρω αξιοποίηση και εκσυγχρονισμό, συγκεντρώνουν σχετικά υψηλό ποσοστό επενδύσεων, δημοσίων αλλά και ιδιωτικών, παρά το γεγονός ότι η Θεσσαλία δε βρίσκεται στη ζώνη των ισχυρών αναπτυξιακών κινήτρων.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκε από τους Lkhagvadorj et al. το 2019 και χρησιμοποιεί τις χρονικές μεταβολές του δείκτη NDVI (NDVI anomaly) με δεδομένα του Terra MODIS και επιχειρεί την εποχική ανάλυση της περιόδου Μαΐου – Σεπτεμβρίου της χωρικής και χρονικής κατανομής της ξηρασίας και συχνότητα εμφάνισης της.

Η ανάκτηση των δεδομένων έγινε από το διαδίκτυο, η προετοιμασία των δεδομένων βασίστηκε εξολοκλήρου σε περιβάλλον GIS (ArcMap 10.4) όπως και η δημιουργία των χαρτών, ενώ η επεξεργασία τους, στην εφαρμογή του Excel για τη δημιουργία διαγραμμάτων και η διερεύνηση χωρικής συσχέτισης των παραμέτρων πραγματοποιήθηκε στο στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics v.25. Συγκεκριμένα, στο ArcMap εκτελέστηκε η επεξεργασία των εικόνων MODIS και CHIRPS, και η εξαγωγή μέσω τιμών NDVI της περιοχής μελέτης. Η δημιουργία ψηφιδωτών μέσης τιμής των υπο εξέταση παραμέτρων έγινε στο ARCGIS 10.4 ενώ στο Microsoft Office Excel έγιναν οι κατάλληλοι υπολογισμοί, η δημιουργία των διαγραμμάτων και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Επίσης, έγινε δημιουργία και εφαρμογή μοντέλου με το εργαλείο Model Maker του ArcMap για την περικοπή των NDVI εικόνων στα όρια της περιοχής μελέτης και την μετατροπή των τιμών των εικόνων NDVI σε κλίμακα από -1 έως 1 (scaling), ενώ δημιουργήθηκαν και χάρτες συχνότητας εμφάνισης ξηρασίας ανά επίπεδο σημαντικότητας φαινομένου.

Για την ίδια περίοδο, συλλέχθηκαν δορυφορικά δεδομένα βροχόπτωσης (CHIRPS) και επιφανειακής θερμοκρασίας (προϊόν MODIS: LST MOD11A2) και επιχειρήθηκε η διερεύνηση της συσχέτισής τους. Επιπλέον, στα παραρτήματα Α και Β της παρούσας εργασίας παρατίθενται συγκρίσεις ανά μήνα και ανά μέσο όρο έτους, των τιμών του έτους 2020 ως έτος αναφοράς με τον αντίστοιχο μέσο όρο της 15ετίας 2001 – 2015 για τις παραμέτρους του δείκτη βλάστησης και του ύψους βροχόπτωσης.

4.2.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσον αφορά στα δεδομένα δείκτη βλάστησης, χρησιμοποιήθηκαν μακροπρόθεσμα (long-term) δεδομένα NDVI από το δέκτη MODIS και συγκεκριμένα το προϊόν MOD13Q1. Τα level-3 MOD13Q1 προϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν, αντιστοιχούν σε 16-ήμερες συνθέσεις του συγκεκριμένου δείκτη βλάστησης με χωρική ευκρίνεια 250 μ. στο ημιτονοειδές προβολικό σύστημα (Sinusoidal projection). Οι δείκτες υπολογίζονται με βάση ατμοσφαιρικά διορθωμένες τιμές δι-διευθυνσιακής ακτινοβολίας της επιφάνειας της γης (bi-directional surface reflectances), μετά την απομάκρυνση τιμών που αντιστοιχούν σε νερό, σκιές, σύννεφα και ατμοσφαιρικά μικροσωματίδια.

Τα δεδομένα που ανακτήθηκαν από το «προϊόν» “MOD13Q1, collection v006” του “Terra MODIS” με χωρική ανάλυση 250m και χρονική ανάλυση 16 ημερών (περίοδος 16 ημερών), για τους μήνες από Μάιο έως Σεπτέμβριο (growing season – περίοδος βλάστησης) κάθε έτους της χρονικής περιόδου 2001 – 2020, ανακτήθηκαν από τον ιστότοπο της NASA (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>) τον Μάρτιο του 2021. Ελήφθησαν συνολικά διακόσιες (200) δορυφορικές εικόνες, δέκα (10) για κάθε περίοδο βλάστησης κάθε έτους. Ακολούθησε επεξεργασία τους με το λογισμικό ArcGIS 10.4 που περιλαμβάνει, περικοπή των δορυφορικών εικόνων στην περιοχή μελέτης που είναι η ηπειρωτική Θεσσαλία και εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε αναλυτικά στο σχετικό, 3^ο κεφάλαιο της παρούσας.

4.2.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας που ανακτήθηκαν από το «προϊόν» “MOD11A2, collection v006” του “Terra MODIS” έχουν χωρική ανάλυση 1 km και χρονική ανάλυση 16 ημερών (περίοδος 16 ημερών) σε κάναβο 1.200 x 1.200 km. Η ανάκτηση πραγματοποιήθηκε

για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο που αποτελούν την περίοδο βλάστησης (growing season) κάθε έτους της χρονικής περιόδου 2001 – 2020. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από τον ιστότοπο της NASA (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>) τον Μάρτιο του 2021. Ελήφθησαν συνολικά οκτακόσιες (800) δορυφορικές εικόνες, σαράντα (40) για κάθε περίοδο βλάστησης κάθε έτους εκ των οποίων 20 ήταν ημέρας (MOD11A2.006_LST_Day_1km) και 20 νύχτας (MOD11A2.006_LST_Night_1km). Ακολούθησε επεξεργασία τους με το λογισμικό ArcGIS 10.4 που περιλαμβάνει, περικοπή των δορυφορικών εικόνων στην περιοχή μελέτης που είναι η ηπειρωτική Θεσσαλία και εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφεται αναλυτικά στο σχετικό, 3ο κεφάλαιο της παρούσας.

Σημειώνεται ότι κάθε τιμή θερμοκρασίας των εικονοστοιχείων του προϊόντος MOD11A2, έχει προκύψει από τον μέσο όρο τιμών του προϊόντος MOD11A1 για την εκάστοτε περίοδο 8 ημερών. Ο λόγος που επιλέχθηκε το προϊόν MOD11A2 έναντι του MOD11A1 ήταν για να μην αυξηθεί υπέρογκα ο αριθμός των δορυφορικών δεδομένων που από 800 εικόνες θα ήταν οκταπλάσιες, δηλαδή 6.400.

4.2.3 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ανήκουν στην κατηγορία δορυφορικών προϊόντων που ονομάζονται Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data ή αλλιώς (CHIRPS) και αποτελούν μια νέα βάση δεδομένων που αφορά στο φυσικό κλίμα, για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης στην ξηρά, και είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο από τις αρχές του 2014. Το πιο πρόσφατο προϊόν είναι το προϊόν Version 2.0 που κυκλοφόρησε τον Φεβρουάριο του 2015. Το προϊόν CHIRPS και τα δεδομένα του διατίθενται στη διεύθυνση: <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps>.

Για την παρούσα εργασία ελήφθησαν 240 global (ολόκληρης της υφηλίου) εικόνες βροχόπτωσης, μία για κάθε μήνα του κάθε έτους της εικοσαετίας 2001 – 2020, τα οποία έχουν χωρική ανάλυση 0,05° και χρονική ανάλυση ενός μήνα.

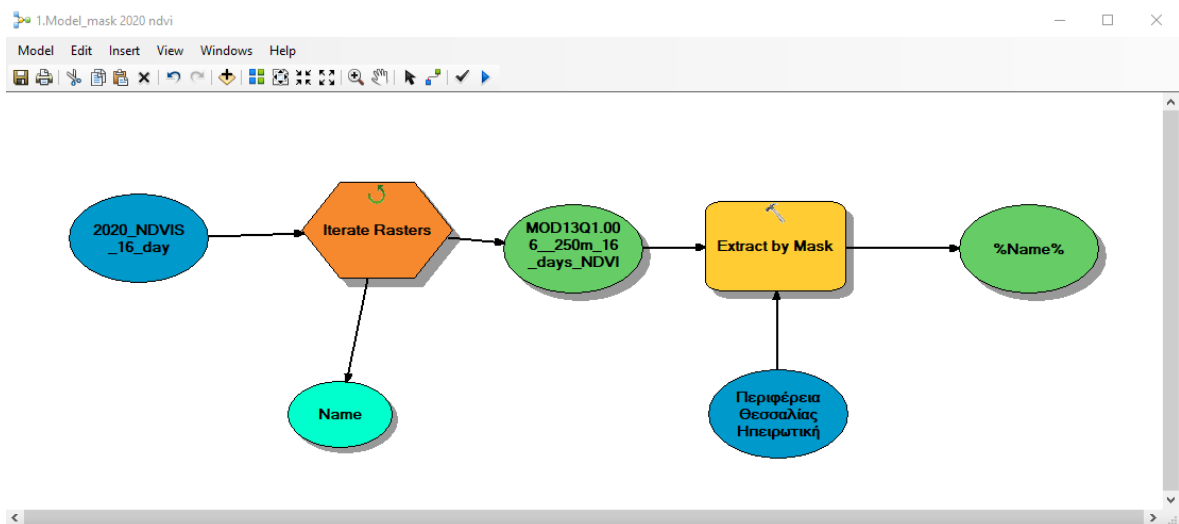
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

4.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (Model Builder)

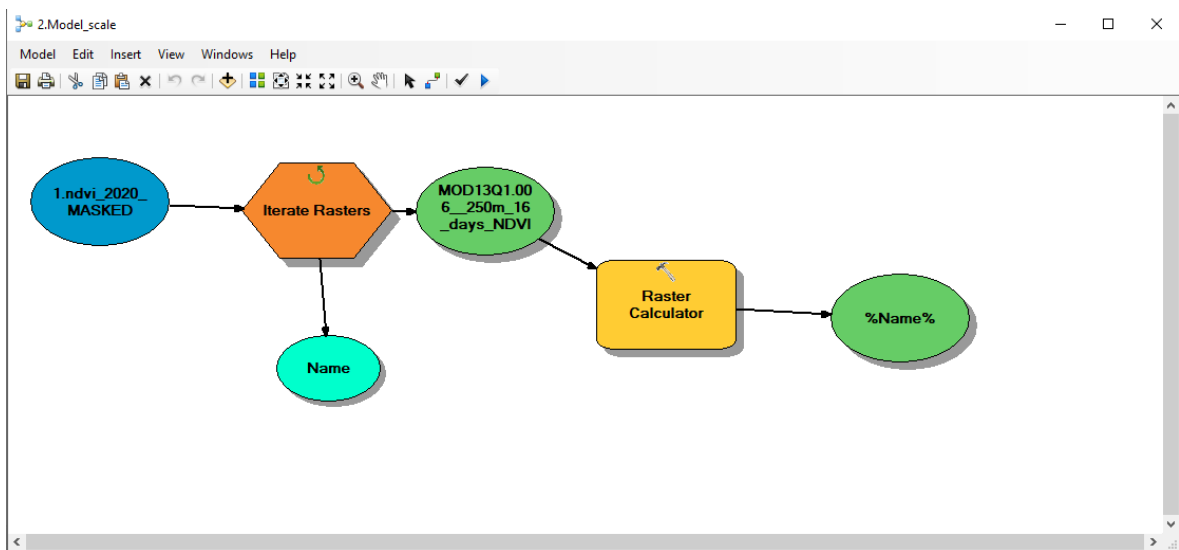
Με το ArcGIS δημιουργήθηκε μοντέλο χωρικού προβλήματος με στόχο την αυτοματοποίηση των διαδικασιών. Η διαδικασία του μοντέλου έγινε με την βοήθεια του

εργαλείου «Model Builder», το οποίο βοήθησε στην αυτοματοποίηση της χωρικής αναλυτικής διαδικασίας και στον πλήρη έλεγχο των διαδικασιών και των δεδομένων.

Μοντέλα δημιουργήθηκαν στην παρούσα έρευνα για την περικοπή των εικόνων βροχόπτωσης, την περικοπή των εικόνων NDVI (εικόνα 6) και τη μετατροπή των τιμών των εικόνων NDVI σε κλίμακα από -1 έως 1 (εικόνα 7). Τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν, περιείχαν επαναληπτικές διαδικασίες καθώς και διαδικασίες «ανάγνωσης» των φακέλων για όλο το πλήθος των δεδομένων.



Εικόνα 6: Μοντέλο ArcGIS – Model Maker για την περικοπή των NDVI εικόνων



Εικόνα 7: Μοντέλο ArcGIS – Model Maker μετατροπή των τιμών των εικόνων NDVI σε κλίμακα από -1 έως 1 (scaling)

4.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ NDVI ANOMALY ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η δημιουργία ψηφιδωτών μέσης τιμής των υπο εξέταση παραμέτρων και η δημιουργία ψηφιδωτών χωροχρονικής μεταβολής του δείκτη NDVI (NDVI anomaly), έγινε στο ARCGIS 10.4 μέσω του μοντέλου της εικόνας 7.

4.3.2.1 Δημιουργία εικόνων NDVI anomaly

Για τη δημιουργία των ψηφιδωτών NDVI anomaly, η διαδικασία υπολογισμού έχει ως εξής: Για το έτος 2001, λαμβάνεται το ψηφιδωτό εποχικής μέσης τιμής του δείκτη NDVI (NDVI seasonal mean), αφαιρείται από αυτό το ψηφιδωτό της εποχικής μέσης τιμής της εικοσαετίας 2001 – 2020 (NDVI seasonal mean of 2001 – 2020) και το ψηφιδωτό που προκύπτει, διαιρείται με το ψηφιδωτό της εποχικής μέσης τιμής της εικοσαετίας 2001 – 2020 ενώ στο τέλος για τη μετατροπή των τιμών των εικόνων NDVI σε κλίμακα από -1 έως 1 (scaling) του τελικού ψηφιδωτού, πολλαπλασιάζουμε με 0,01.

4.3.2.2 Δημιουργία εικόνων συχνότητας εμφάνισης ξηρασίας

Για τη δημιουργία των ψηφιδωτών συχνότητας εμφάνισης ξηρασίας έγινε επαναταξινόμηση (reclassification) των εικόνων σε 5 κλάσεις σύμφωνα με τις τιμές NDVI anomaly των 5 επιπέδων ξηρασίας που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω με την τιμή 1 να αντιστοιχεί στη μέγιστη ξηρασία ενώ η τιμή 5 στις κανονικές συνθήκες της μη ξηρασίας. Δημιουργήθηκαν 20 εικόνες που περιείχαν μόνο την πρώτη κλάση ξηρασίας (1 για κάθε έτος) και εν συνεχεία δημιουργήθηκε χάρτης συχνότητας εμφάνισης του συγκεκριμένου επιπέδου ξηρασίας κατά την εικοσαετία 2001 – 2020 στη Θεσσαλία με τη χρήση του ARCMAP 10.4.

4.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2020 ΜΕ ΤΟΝ Μ.Ο. ΔΕΚΑΠΕΝΤΑΕΤΙΑΣ 2001 -2015.

Σε μία παραλλαγή της ως άνω μεθοδολογίας, για τις παραμέτρους του δείκτη βλάστησης και της βροχόπτωσης στη Θεσσαλία, επιχειρήθηκε ανάλυση των ετήσιων μέσων όρων των ως άνω παραμέτρων για το έτος 2020 που ορίστηκε ως έτος αναφοράς. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της μέσης τιμής του έτους 2020 με τον αντίστοιχο ετήσιο μέσο όρο της 15ετίας 2001 – 2015 αλλά και η αντίστοιχη μηνιαία σύγκριση. Δηλαδή σύγκριση του κάθε μήνα του έτους αναφοράς με τον αντίστοιχο μέσο όρο του ίδιου μήνα για την δεκαπενταετία 2001 – 2015. Η ανάλυση αυτή οδήγησε στη δημιουργία των χαρτών και διαγράμματος που παρατίθενται στα παραρτήματα Α και Β.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

5.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Με βάση τη χωροχρονική μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI κατά τη διάρκεια των περιόδων βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020 στη περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας δημιουργήθηκαν οι χάρτες ξηρασίας (χάρτης 4) σε μια προσπάθεια οπτικοποίησης της χωρικής κατανομής των διαφόρων επιπέδων ξηρασίας σύμφωνα με την ταξινόμηση (classification) του πίνακα 1.8. Στις εικόνες του χάρτη 4 το πράσινο χρώμα απεικονίζει τις κανονικές συνθήκες όπου δηλαδή η μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI είναι θετική και πάνω από τη μέση τιμή εικοσαετίας του δείκτη NDVI για το εκάστοτε εικονοστοιχείο αναφοράς. Επιπλέον, το γκρι, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα δείχνουν το ήπιο, μεσαίο, σοβαρό και πολύ σοβαρό επίπεδο ξηρασίας αντίστοιχα όπου η μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI είναι αρνητική και κάτω από τη μέση τιμή εικοσαετίας του δείκτη NDVI για το εκάστοτε εικονοστοιχείο αναφοράς. Ο πίνακας 1.8 περιέχει τα ετήσια ποσοστά ξηρασίας ανά επίπεδο εντάσεως φαινομένου για όλη την περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια των περιόδων βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.

Σύμφωνα με τους χάρτες ξηρασίας (χάρτης 4) και τον πίνακα 1.8 που περιέχει τα ετήσια ποσοστά ξηρασίας, προκύπτουν οι περιοχές της Θεσσαλίας που εμφάνισαν ξηρασία και τα αντίστοιχα ποσοστά χωρικής κάλυψης του φαινομένου επί της περιοχής μελέτης.

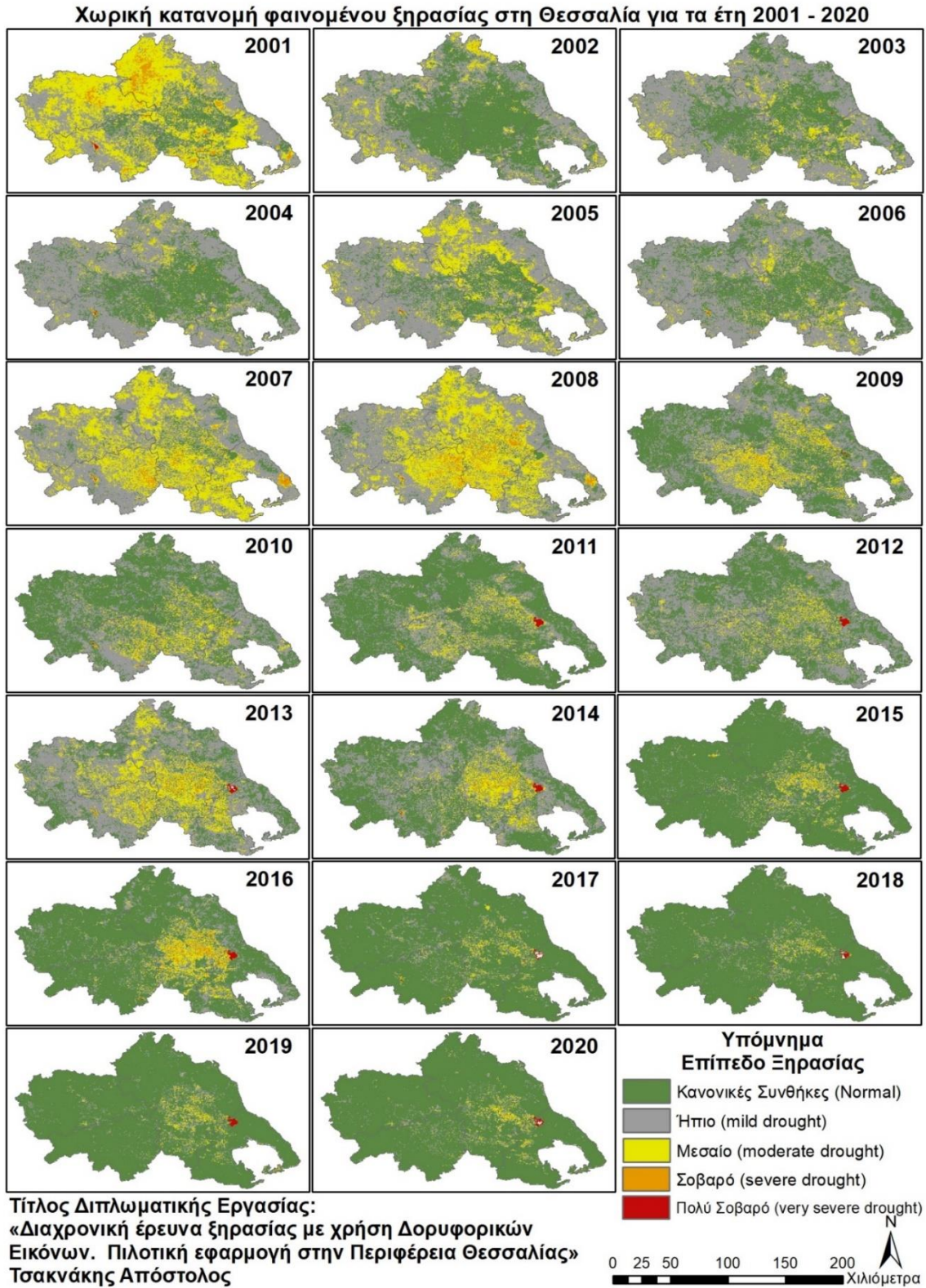
Τα έτη 2001, 2007 και 2008 το φαινόμενο της ξηρασίας είχε τη μεγαλύτερη ένταση και έκταση στην περιοχή μελέτης. Κατά τα έτη 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2010 και 2013 η περιοχή μελέτης εμφάνισε ήπια ξηρασία σε ποσοστό 45% - 70% ενώ κατά τα έτη 2009, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 και 2020 οι συνθήκες μη ξηρασίας ανήλθαν σε ποσοστό κάλυψης γης από 60% μέχρι 95% με εξαίρεση το 2009 όπου το ποσοστό ήταν 51%. Κατά την περίοδο βλάστησης του 2001, το 64,2% της ηπειρωτικής Θεσσαλίας εμφάνισε μεσαίο και σοβαρό επίπεδο ξηρασίας, το 26,4% ήπια ξηρασία και μόνο το 9,4% βρισκόταν σε κανονικές συνθήκες μη ξηρασίας.

Κατά την περίοδο βλάστησης του 2008, το 60,4% της ηπειρωτικής Θεσσαλίας εμφάνισε μεσαίο και σοβαρό επίπεδο ξηρασίας, το 37,4% ήπια ξηρασία και μόνο το 2,2% βρισκόταν σε κανονικές συνθήκες μη ξηρασίας.

Κατά την περίοδο βλάστησης του 2007, το 42,9% της ηπειρωτικής Θεσσαλίας εμφάνισε μεσαίο και σοβαρό επίπεδο ξηρασίας, το 47,4% ήπια ξηρασία και μόνο το 9,8% βρισκόταν σε κανονικές συνθήκες μη ξηρασίας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 1.4 και τον χάρτη καλύψεων γης (χάρτης 2), κατά τα τρία ως άνω έτη, η βροχόπτωση ήταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα και οι θερμοκρασίες άνω του μέσου όρου ενώ το ποσοστό της περιοχής που δεν εμφάνισε ξηρασία ήταν τεχνητά αρδευόμενες, καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Το 2014 και 2016, η περιοχή που φαίνεται να έχει μεσαία ξηρασία (κίτρινο χρώμα) είναι μη αρδευόμενη αρόσιμη γη. Η επαναπλήρωση της Λίμνης Κάρλα ξεκίνησε το 2009 και ολοκληρώθηκε το 2011. Εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στις εικόνες καθώς οι υδάτινες επιφάνειες καταγράφονται με αρνητική τιμή (κοντά στο -1) από τον δείκτη NDVI.



Χάρτης 4: Χωροχρονική κατανομή φαινομένου ξηρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.

Πίνακας 1.8: Ετήσια ποσοστά κάλυψης εδάφους ανά επίπεδο εντάσεως φαινομένου ξηρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.

Ποσοστά ξηρασίας ανά επίπεδο εντάσεως φαινομένου					
Year	Normal non drought >0	Mild Drought 0 to -10	Moderate -10 to -25	Severe drought -25 to -50	Very severe drought below -50
2001	9,4%	26,4%	54,1%	10,0%	0,1%
2002	37,3%	54,9%	7,5%	0,2%	0,0%
2003	28,5%	62,7%	8,5%	0,2%	0,0%
2004	23,6%	69,8%	6,4%	0,2%	0,0%
2005	12,4%	66,5%	20,4%	0,7%	0,0%
2006	30,8%	60,5%	8,4%	0,3%	0,0%
2007	9,8%	47,4%	38,6%	4,3%	0,0%
2008	2,2%	37,4%	55,3%	5,1%	0,0%
2009	51,2%	37,5%	10,0%	1,3%	0,0%
2010	45,7%	46,1%	7,5%	0,7%	0,0%
2011	76,3%	18,7%	4,6%	0,2%	0,3%
2012	70,0%	26,7%	3,0%	0,1%	0,2%
2013	24,2%	58,9%	15,3%	1,5%	0,2%
2014	58,4%	33,7%	6,8%	0,9%	0,3%
2015	86,6%	10,6%	2,2%	0,4%	0,2%
2016	82,9%	9,7%	5,5%	1,6%	0,2%
2017	86,5%	11,1%	2,1%	0,2%	0,1%
2018	94,7%	4,0%	1,0%	0,1%	0,2%
2019	93,0%	4,6%	2,0%	0,1%	0,2%
2020	91,8%	6,3%	1,6%	0,1%	0,2%

Στον πίνακα 1.8 καταγράφονται τα ετήσια ποσοστά κάλυψης εδάφους ανά επίπεδο εντάσεως φαινομένου ξηρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020 όπως προκύπτουν από τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η χωρική κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων ξηρασίας και της μη ξηρασίας (κανονικές συνθήκες υγρασίας) στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020 απεικονίζεται στον χάρτη 5. Η συχνότητα κυμαίνεται ανάμεσα στο 0 (μη εμφάνιση) και 1 (συνεχής εμφάνιση). Η συχνότητα εμφάνισης υψηλού και πολύ υψηλού επιπέδου ξηρασίας είναι εξαιρετικά μικρή, κάτω από 0,2, σε όλη την περιοχή μελέτης ενώ αμελητέα είναι κάποια σημεία ανάμεσα σε Βόλο και Λάρισα όπου που εμφανίστηκε επίπεδο (δ) με συχνότητα ανάμεσα σε 0,2 και 0,4.

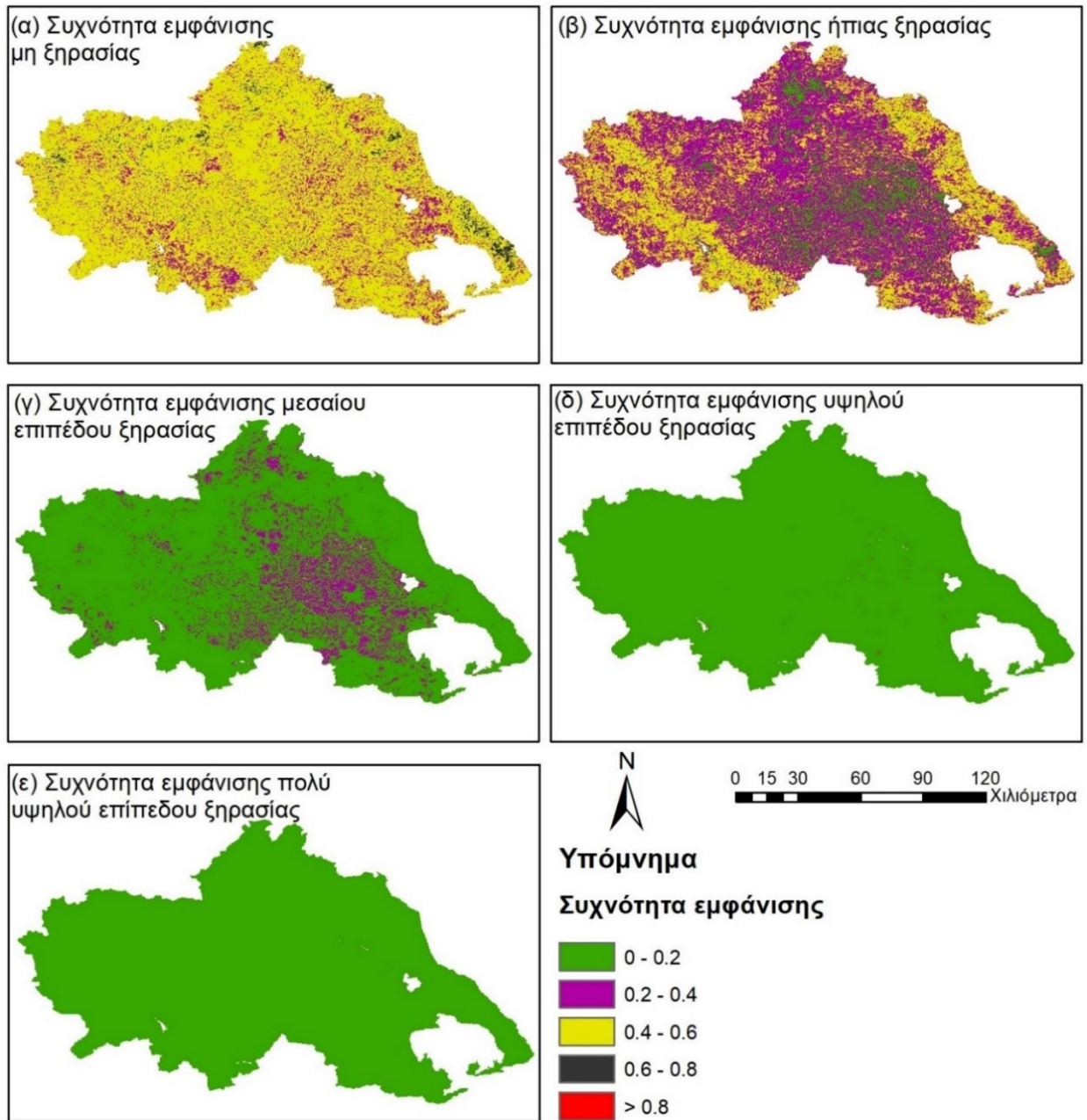
Το μεσαίο επίπεδο ξηρασίας (γ) εντοπίστηκε με συχνότητα 0,2 - 0,4 κυρίως στην ΠΕ Λάρισας. Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης εμφανίζεται με συχνότητα κάτω από 0,2 το συγκεκριμένο επίπεδο.

Το ήπιο επίπεδο ξηρασίας (β) εντοπίστηκε με συχνότητα 0.4 - 0.6 σε περιοχές στην Ανατολική και Δυτική Θεσσαλία, ενώ στην κεντρική Θεσσαλία εμφανίζεται με συχνότητα 0.2 - 0.4.

Οι κανονικές συνθήκες της μη ξηρασίας (επίπεδο (α)) παρατηρήθηκε με υψηλή συχνότητα 0.4 – 0.6 σε σχεδόν ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

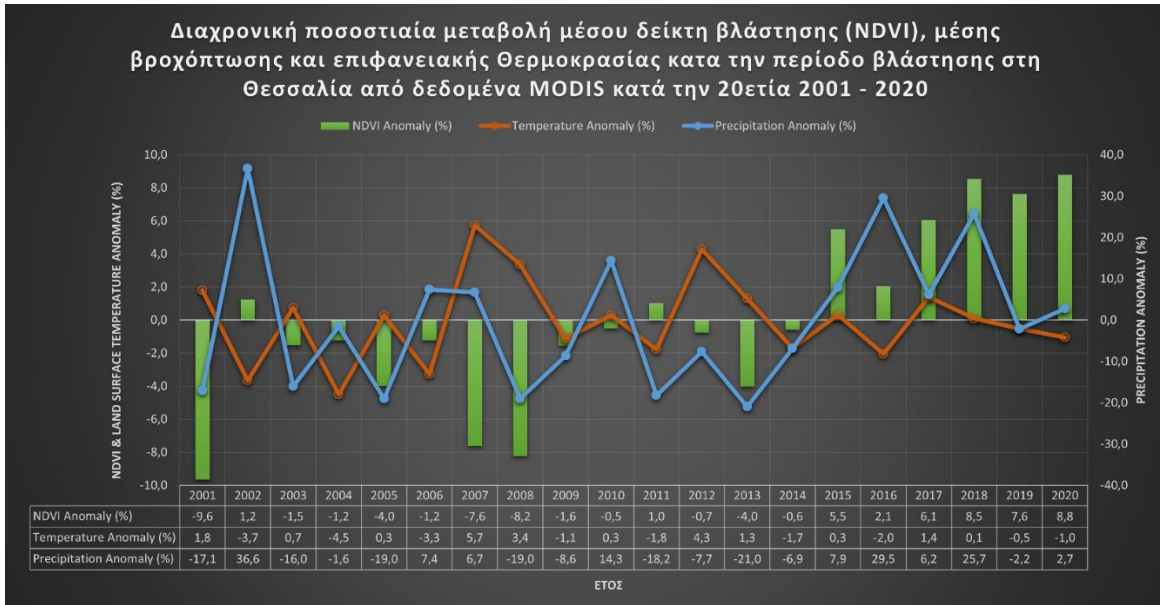
Η τάση που εντοπίζεται είναι η εμφάνιση μεσαίου επιπέδου ξηρασίας στην ΠΕ Λάρισας και τη Δυτική ΠΕ Μαγνησίας, σε καλλιεργούμενες εκτάσεις ενώ, η περιοχή μελέτης συνολικά δεν εμφανίζει ανησυχητικά υψηλά επίπεδα σημαντικής ξηρασίας.

Χωρική κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των 4 διαφορετικών επιπέδων ξηρασίας και της μη ξηρασίας κατά την 20ετία 2001-2020.



Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:
«Διαχρονική έρευνα ξηρασίας με χρήση Δορυφορικών Εικόνων. Πιλοτική εφαρμογή στην Περιφέρεια Θεσσαλίας»
Τσακνάκης Απόστολος, Απρίλιος 2021.

Χάρτης 5: Χωρική κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων ξηρασίας και της μη ξηρασίας (κανονικές συνθήκες υγρασίας) στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.



Διάγραμμα 1.4: Ποσοστιαία διαχρονική μεταβολή μέσου δείκτη βλάστησης (NDVI), μέσης βροχόπτωσης και μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.

Επιπροσθέτως, τα δεδομένα βροχοπτώσεων και επιφανειακών θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του διαγράμματος 1 το οποίο δείχνει τη συσχέτιση της ποσοστιαίας διαχρονικής μεταβολής του μέσου δείκτη βλάστησης (NDVI), μέσης βροχόπτωσης και της επιφανειακής Θερμοκρασίας για την περίοδο 2001-2020.

Από το διάγραμμα 1.4 προκύπτει ότι το έτος 2001, το φαινόμενο της ξηρασίας είχε τη μεγαλύτερη ένταση στην περιοχή μελέτης με μέση θερμοκρασία άνω του μέσου όρου, δείκτη βλάστησης και βροχόπτωση να καταγράφουν ελάχιστες τιμές 20ετίας.

Το 2007, αν και το ύψος βροχής είναι πάνω από το μέσο όρο 20ετίας κατά 10%, η υψηλή θερμοκρασία και η σωρευτική επίδραση της λειψυδρίας κατά τα έτη 2003,2004,2005 και 2006 δεν έχουν επιτρέψει στη βλάστηση να ανακάμψει.

Το 2008, ένα έτος όπου η βροχόπτωση κατά την περίοδο βλάστησης υποχώρησε σε αρνητικό επίπεδο και η θερμοκρασία παραμένει πάνω από το μέσο όρο, η βλάστηση καταγράφει ακόμα μεγαλύτερη επιβάρυνση λόγω ξηρασίας. Το ίδιο ισχύει και για το έτος 2013.

Κατά τα έτη, 2003, 2004, 2005, 2006 και 2010, η περιοχή μελέτης εμφάνισε ξηρασία με το δείκτη βλάστησης σε αρνητικά επίπεδα, θερμοκρασία κοντά στο μέσο όρο και χαμηλή βροχόπτωση, κάτω του μέσου όρου, με εξαίρεση το 2010.

Τέλος, κατά τα έτη 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 και 2020 η Θεσσαλία έχει «πρασινίσει» αντιστρέφοντας την εικόνα βλάστησης των προηγούμενων ετών και καταγράφοντας τις υψηλότερες τιμές στο δείκτη βλάστησης, σε συνδυασμό με θερμοκρασίες κοντά στο μέσο όρο και πολύ ικανοποιητικό επίπεδο βροχής ειδικά τα έτη 2016 και 2018.

Πίνακας 1.9: Ποσοστιαίες μεταβολές Δείκτη βλάστησης, βροχόπτωσης και επιφανειακής θερμοκρασίας ανά έτος στην περιοχή της ηπειρωτικής Θεσσαλίας κατά τις περιόδους βλάστησης (Μάιος – Σεπτέμβριος) της εικοσαετίας 2001 – 2020.

Έτος	Precipitation Anomaly	LST Anomaly	NDVI Anomaly
2001	-17,1%	1,8%	-9,6%
2002	36,6%	-3,7%	1,2%
2003	-16,0%	0,7%	-1,5%
2004	-1,6%	-4,5%	-1,2%
2005	-19,0%	0,3%	-4,0%
2006	7,4%	-3,3%	-1,2%
2007	6,7%	5,7%	-7,6%
2008	-19,0%	3,4%	-8,2%
2009	-8,6%	-1,1%	-1,6%
2010	14,3%	0,3%	-0,5%
2011	-18,2%	-1,8%	1,0%
2012	-7,7%	4,3%	-0,7%
2013	-21,0%	1,3%	-4,0%
2014	-6,9%	-1,7%	-0,6%
2015	7,9%	0,3%	5,5%
2016	29,5%	-2,0%	2,1%
2017	6,2%	1,4%	6,1%
2018	25,7%	0,1%	8,5%
2019	-2,2%	-0,5%	7,6%
2020	2,7%	-1,0%	8,8%

5.3 ΑΧΩΡΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ NDVI – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ - ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Οι κλιματικές παράμετροι είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη βλάστηση (Kogan, 1995). Ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης Pearson (παράρτημα Γ) με το πρόγραμμα SPSS version 25 από όπου προέκυψε στατιστικά σημαντική ($p = 0,026$), θετική συσχέτιση ($r = 0,497$) της χωροχρονικής μεταβολής του δείκτη NDVI (NDVI anomaly) με το ύψος βροχόπτωσης. Η συσχέτιση αυτή είναι προφανής και στο διάγραμμα 1.4 όπου επαληθεύεται η δυνατή θετική συσχέτιση του ύψους βροχής με το δείκτη βλάστησης NDVI. Όσον αφορά στην επιφανειακή θερμοκρασία η ανάλυση συσχέτισης Pearson που πραγματοποιήθηκε έδειξε μη στατιστικά σημαντική ($p = 0.095$) αρνητική συσχέτιση ($r = -0,38$). Η θερμοκρασία δεν επηρέασε ιδιαίτερα το φαινόμενο της ξηρασίας στη Θεσσαλία κατά την τελευταία εικοσαετία όμως στο διάγραμμα 1.4 φαίνεται η αρνητική συσχέτιση των δύο μεταβλητών κατά τις ξηρασίες των ετών 2007, 2008 και 2012, λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων.

Ανάλυση χωρικής συσχέτιση δεν πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας καθώς τα δεδομένα δείκτη βλάστησης, επιφανειακής θερμοκρασίας και βροχόπτωσης έχουν διαφορετική χωρική ανάλυση ήτοι 250m, 1km και 4,33km αντίστοιχα. Έγινε προσπάθεια με χρήση του εργαλείου «AGGREGATE» στο ArcGIS 10 το οποίο μικραίνει την ανάλυση ψηφιδωτών (μεγαλώνει τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου), αλλά οι εικόνες που προέκυψαν δεν αλληλεπικαλύπτονται σε πολλά σημεία στα όρια της περιφέρειας οδηγώντας σε αλλοίωση των αποτελεσμάτων και συνεπώς σε μη ασφαλή συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σκοπός της εργασίας ήταν η ανάλυση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας (συχνότητα εμφάνισης ξηρασιών, ένταση και διάρκεια), καθώς και της χαρτογράφησης της χωρικής κατανομής τους, προκειμένου να περιγράψει ολοκληρωτικά το φαινόμενο και να προκύψουν συμπεράσματα τα οποία θα βοηθήσουν στη διαχείριση του φαινομένου στη Θεσσαλία αλλά και σε άλλες περιοχές όπου δυνητικά μπορεί να εφαρμοσθεί η μεθοδολογία της παρακολούθησης του φαινομένου της ξηρασίας με δορυφορικά δεδομένα. Από την παρούσα εργασία και τις αντίστοιχες της διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η χρήση της χωροχρονικής μεταβολής του δείκτη βλάστησης NDVI δίνει τη δυνατότητα ταυτοποίησης του χώρου και υπολογισμού της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου ξηρασίας σε μακροπρόθεσμες μελέτες.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά την περίοδο βλάστησης του 2001, το 64,2% της ηπειρωτικής Θεσσαλίας εμφάνισε μεσαίο και σοβαρό επίπεδο ξηρασίας, το 26,4% ήπια ξηρασία και μόνο το 9,4% βρισκόταν σε κανονικές συνθήκες μη ξηρασίας. Κατά την περίοδο βλάστησης του 2008, το 60,4% της ηπειρωτικής Θεσσαλίας εμφάνισε μεσαίο και σοβαρό επίπεδο ξηρασίας, το 37,4% ήπια ξηρασία και μόνο το 2,2% βρισκόταν σε κανονικές συνθήκες μη ξηρασίας. Κατά την περίοδο βλάστησης του 2007, το 42,9% της ηπειρωτικής Θεσσαλίας εμφάνισε μεσαίο και σοβαρό επίπεδο ξηρασίας, το 47,4% ήπια ξηρασία και μόνο το 9,8% βρισκόταν σε κανονικές συνθήκες μη ξηρασίας. Σύμφωνα με το διάγραμμα 1.4 και τον χάρτη καλύψεων γης (Χάρτης 2), κατά τα τρία ως άνω έτη (2001,2007 και 2008), η βροχόπτωση ήταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα και οι θερμοκρασίες άνω του μέσου όρου, ενώ το ποσοστό της περιοχής που δεν εμφάνισε ξηρασία ήταν τεχνητά αρδευόμενες, καλλιεργούμενες εκτάσεις. Το 2014 και 2016, η περιοχή που εμφάνισε ξηρασία (κίτρινο χρώμα στο χάρτη 4) ήταν μη αρδευόμενη αρόσιμη γη.

Η συχνότητα εμφάνισης υψηλού και πολύ υψηλού επιπέδου ξηρασίας είναι εξαιρετικά μικρή, κάτω από 0,2, σε όλη την περιοχή μελέτης ενώ κάποια σημεία ανάμεσα σε Βόλο και Λάρισα όπου εμφανίστηκε επίπεδο (δ) με συχνότητα ανάμεσα σε 0,2 και 0,4 θεωρείται ότι δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς δεν αποτελούν καλλιεργήσιμη γη αλλά χώρο κοντά σε δομημένο περιβάλλον.

Το μεσαίο επίπεδο ξηρασίας (γ) εντοπίστηκε με συχνότητα 0,2 - 0,4 κυρίως στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας. Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης εμφανίζεται με συχνότητα κάτω από 0,2 το συγκεκριμένο επίπεδο.

Το ήπιο επίπεδο ξηρασίας (β) εντοπίστηκε με συχνότητα 0,4 – 0,6 σε περιοχές στην Ανατολική και Δυτική Θεσσαλία, ενώ στην κεντρική Θεσσαλία εμφανίζεται με συχνότητα 0,2 – 0,4.

Οι κανονικές συνθήκες της μη ξηρασίας (επίπεδο (α)) εμφανίζονται με υψηλή συχνότητα 0,4 – 0,6 σε σχεδόν ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

Η τάση που αναγνωρίζεται είναι η μεσαίου επιπέδου εμφάνιση ξηρασίας στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας και την Δυτική Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας, σε καλλιεργούμενες εκτάσεις ενώ η περιοχή μελέτης, συνολικά, δεν εμφανίζει ανησυχητικά υψηλά επίπεδα σημαντικής ξηρασίας.

Η διακύμανση των συσχετίσεων ανάμεσα στη χωροχρονική μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI και τις μεταβλητές της επιφανειακής θερμοκρασίας και του ύψους βροχόπτωσης οφείλονται σε:

α) Τα χαρακτηριστικά των φυτών: οι μονοετείς καλλιέργειες επηρεάζονται πολύ περισσότερο από τις κλιματικές παραμέτρους σε σχέση με τις εποχικές καλλιέργειες. Επίσης, τα μη ξυλώδη φυτά έχουν πολύ μικρότερη ανοχή στην απουσία βροχοπτώσεων από ότι τα ξυλώδη φυτά. Σημειώνεται επίσης ότι τα φυτά με πολύ υψηλή βιομάζα προκαλούν κορεσμό του δείκτη NDVI και προτείνεται η χρήση του δείκτη EVI (Wang et al., 2001). Στη Θεσσαλία το ποσοστό με τα εν λόγω χαρακτηριστικά είναι εξαιρετικά μικρό και συνεπώς η χρήση του δείκτη NDVI ήταν ικανή για τη διεξαγωγή της έρευνας.

β) Το υδρολογικό ισοζύγιο: Η κατάσταση της βλάστηση που βρίσκεται σε περιοχές με θερμοκρασίες χαμηλές και υψηλή βροχόπτωση, συνήθως δεν επιβαρύνεται από την ξηρασία καθώς το νερό που δέχονται βρίσκεται σε ισορροπία με τις ανάγκες των φυτών. Σε αυτές τις περιοχές, η συσχέτιση ανάμεσα στο ύψος βροχής και τη χωροχρονική μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI, είναι είτε μηδενική ή ελαφρώς αρνητική (Wang et al., 2001).

Θεωρείται ότι η παρατήρηση του φαινομένου της ξηρασίας από την επιστημονική κοινότητα μπορεί να συνδράμει στο σχεδιασμό πολιτικών και την επιβολή μέτρων στις προβληματικές περιοχές όπου διαχρονικά εμφανίζουν ξηρασία και η χρήση τους είναι μη συμβατή. Οι περιοχές που εμφανίζουν φαινόμενα ξηρασίας σε υψηλή συχνότητα, εφόσον εντοπιστούν,

δύνανται να τύχουν αλλαγής θεσμοθετημένης επιτρεπόμενης χρήσης γης με αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητάς τους, μετατρέποντάς τες σε περιοχές με χρήση που δεν απαιτεί υδατικούς πόρους, όπως για παράδειγμα η χρήση τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ηλιακών ή αιολικών πάρκων).

Για τη λήψη αποφάσεων, σε όλα τα επίπεδα, είναι απαραίτητο να υπάρχουν αξιόπιστες πληροφορίες σχετικές με την έκταση και τις επιπτώσεις της λειψυδρίας και της ξηρασίας. Είναι αναγκαίο να υιοθετηθούν κοινοί ορισμοί, ώστε να εξασφαλιστεί η συνέπεια των δεδομένων. Επιπρόσθετα με την μελλοντική επιτυχημένη εκτόξευση ενός καινούργιου δορυφόρου της NASA, του Landsat 9, χωρίς καμία αμφιβολία θα συνεχιστεί η παροχή δωρεάν, ελεύθερων δεδομένων και έτσι νέες προκλήσεις και μελέτες θα αναπτυχθούν. Η συνεχής ενασχόληση των επιστημόνων με τη βελτίωση των υπαρχόντων δεικτών και αλλά και τη δημιουργία νέα θα διαδραματίσει επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στο μέλλον όσον αφορά στην παροχή της απαραίτητης πληροφορίας και εργαλείων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

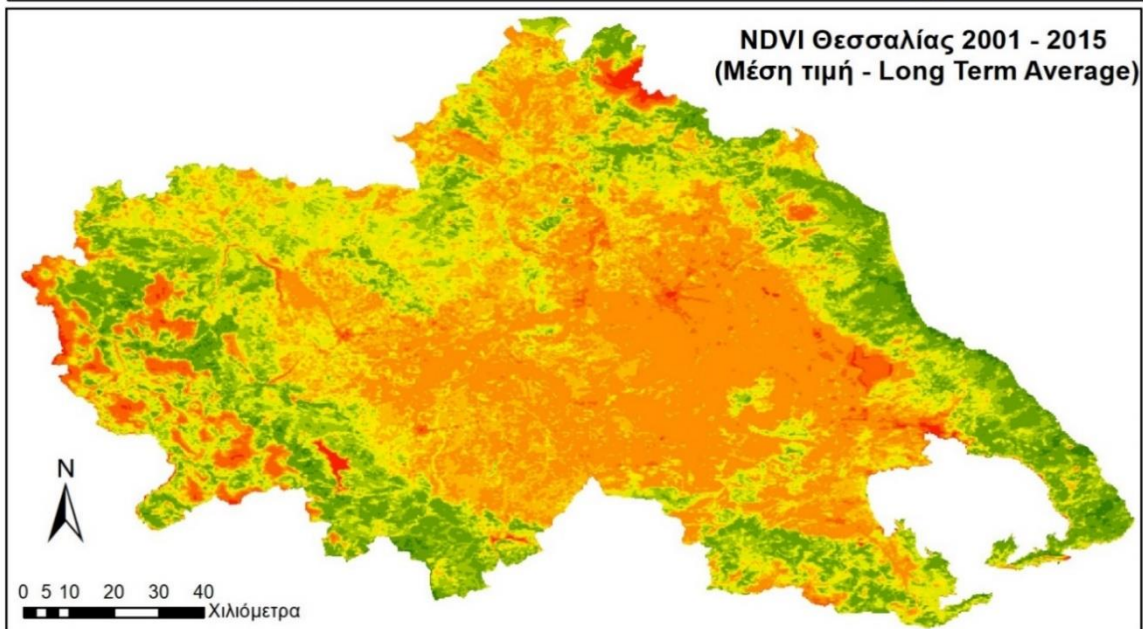
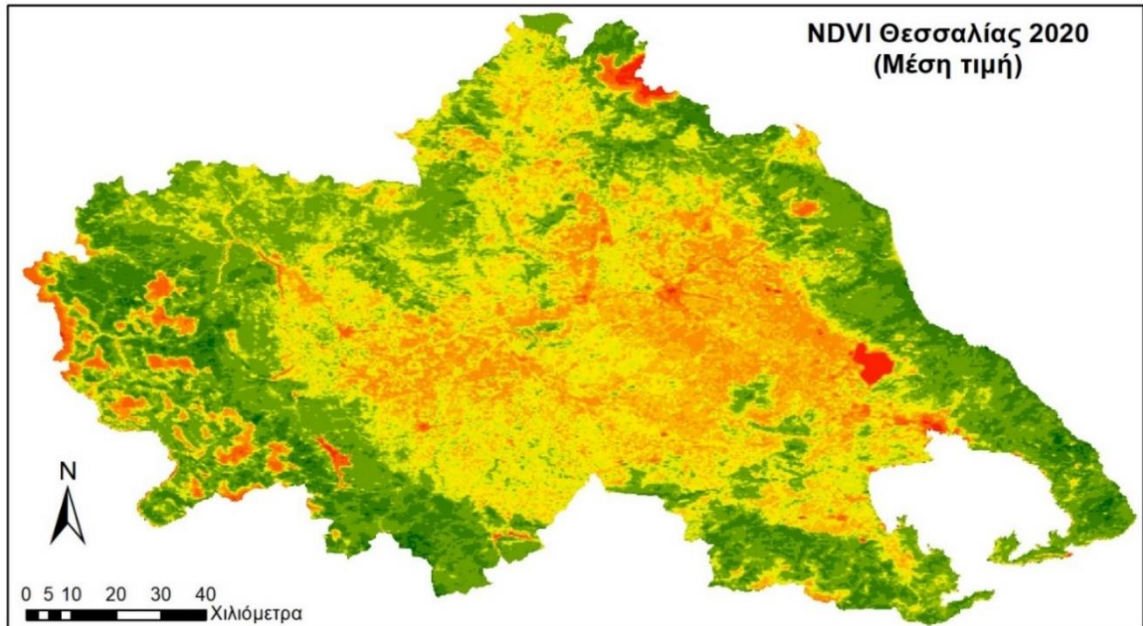
Εφαρμόζοντας μία παραλλαγή της μεθοδολογίας, για τις παραμέτρους του δείκτη βλάστησης και της βροχόπτωσης στη Θεσσαλία, επιχειρήθηκε ανάλυση των ετήσιων μέσων όρων των ως άνω παραμέτρων για το έτος 2020 που ορίστηκε ως έτος αναφοράς. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της μέσης τιμής του έτους 2020 με τον αντίστοιχο ετήσιο μέσο όρο της 15ετίας 2001 – 2015 αλλά και η αντίστοιχη μηνιαία σύγκριση. Δηλαδή σύγκριση του κάθε μήνα του έτους αναφοράς με τον αντίστοιχο μέσο όρο του ίδιου μήνα για την δεκαπενταετία 2001 – 2015. Η ανάλυση αυτή οδήγησε στη δημιουργία των εξής χαρτών:

- Διαφορά μεταξύ τιμών NDVI του έτους 2020 και της αντίστοιχης μέσης τιμής της δεκαπενταετίας 2001 -2015 (ένας χάρτης)
- Σύγκριση τιμών NDVI του εκάστοτε μήνα του έτους 2020 με την αντίστοιχη μέση τιμή της δεκαπενταετίας 2001 – 2015 στη Θεσσαλία (12 ζεύγη χαρτών)
- Ποσοστιαία και ποσοτική διαφορά μέσης βροχόπτωσης του έτους 2020 με την αντίστοιχη μέση τιμή της δεκαπενταετίας 2001 – 2015. Η διαφορά απεικονίζεται ποσοστιαία στο πρώτο raster του χάρτη αλλά και ποσοτικά στο δεύτερο raster. (1 ζεύγος χαρτών)
- Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης του εκάστοτε μήνα του έτους 2020 με την αντίστοιχη μέση τιμή της δεκαπενταετίας 2001 – 2015 στη Θεσσαλία (12 ζεύγη χαρτών)

A.1. Βλάστηση στη Θεσσαλία – Συγκριτική Χαρτογραφική Απεικόνιση

A.1.1 Σύγκριση τιμών NDVI του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο (Long Term Average) τιμών της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

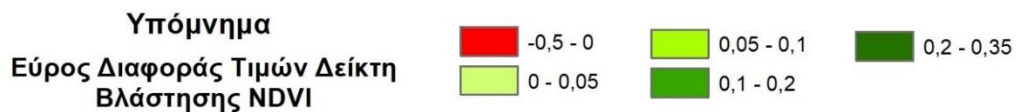
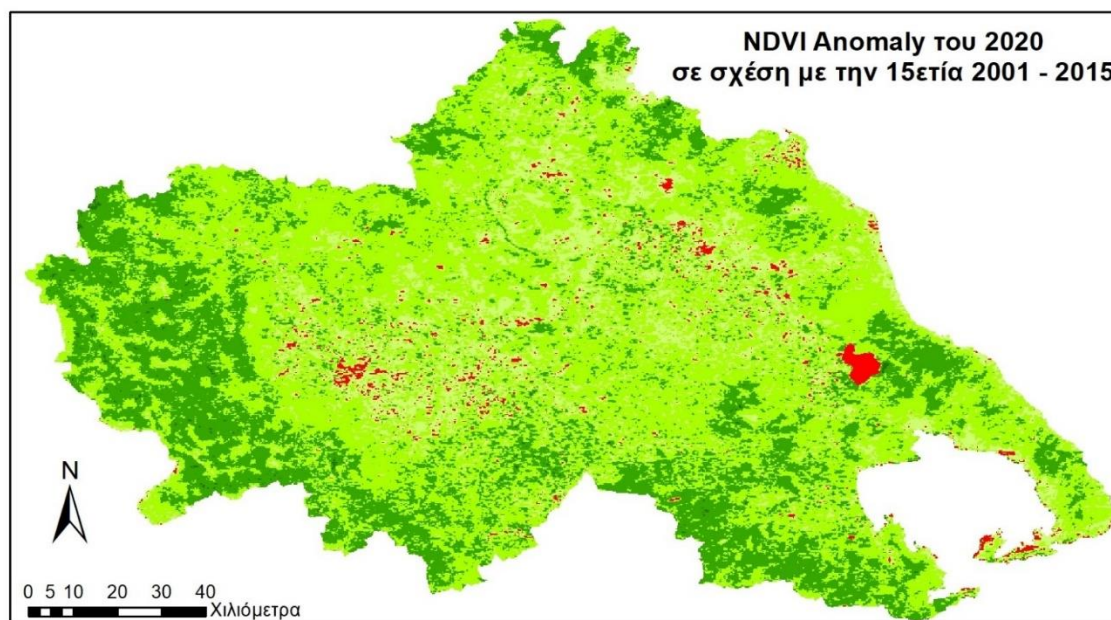
Σύγκριση τιμών NDVI του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο (Long Term Average) τιμών της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	-0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

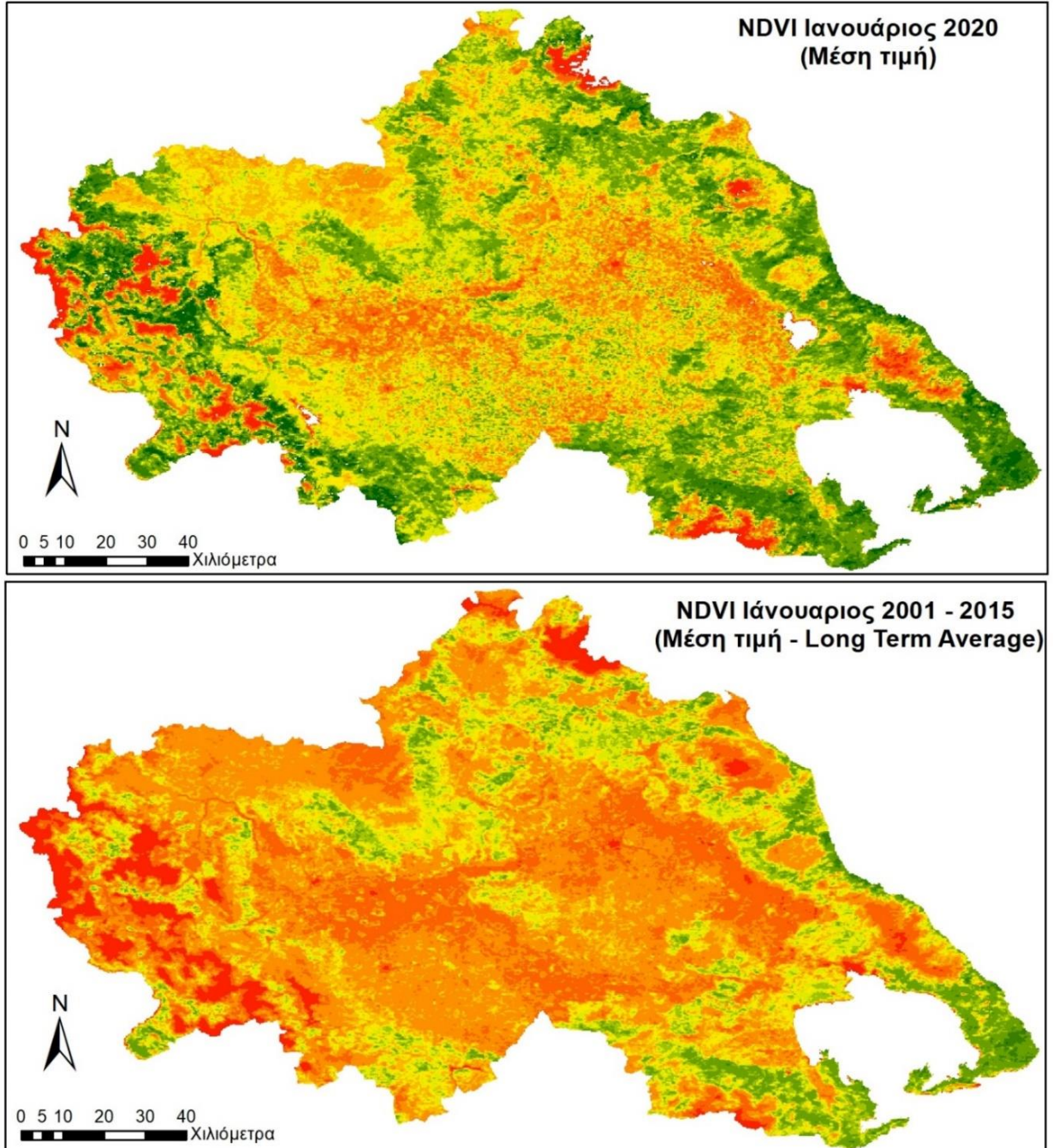
A.1.2. Διαφορά τιμών NDVI του έτους 2020 από τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών της 15ετίας 2001 – 2015

**Διαφορά τιμών NDVI του έτους 2020 από τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών της 15ετίας του 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.
(Μέση τιμή NDVI 2020 - Μέση τιμή NDVI 15ετίας 2001 - 2015)**



A.1.3 Σύγκριση τιμών NDVI του Ιανουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιανουαρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

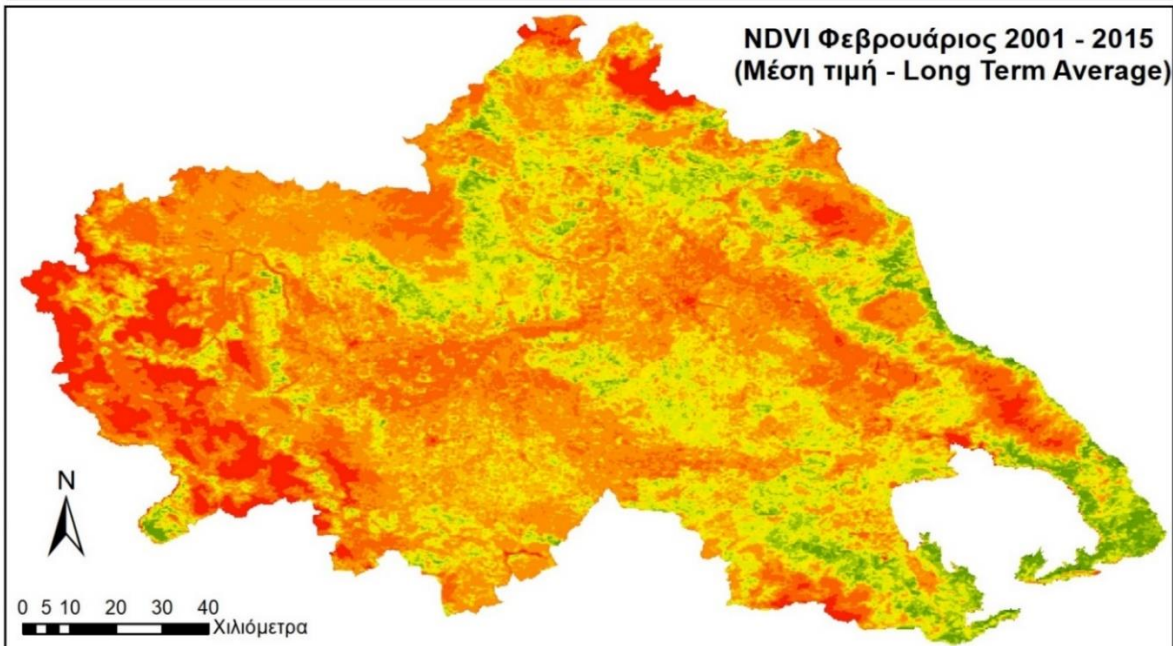
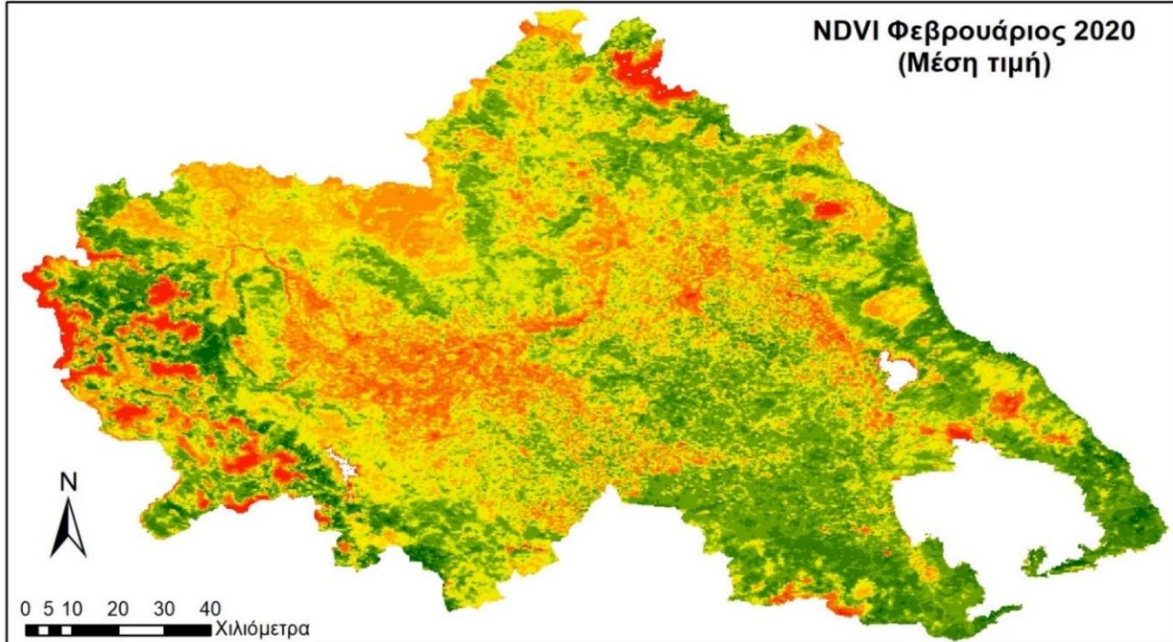
Σύγκριση τιμών NDVI του Ιανουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιανουαρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
Βλάστησης NDVI	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

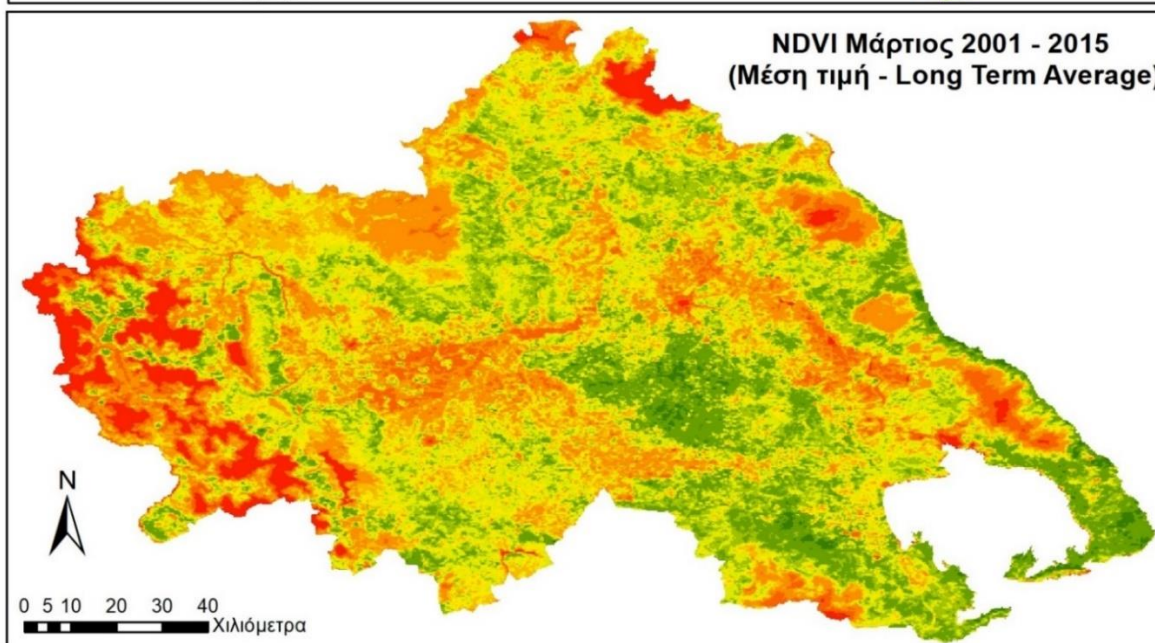
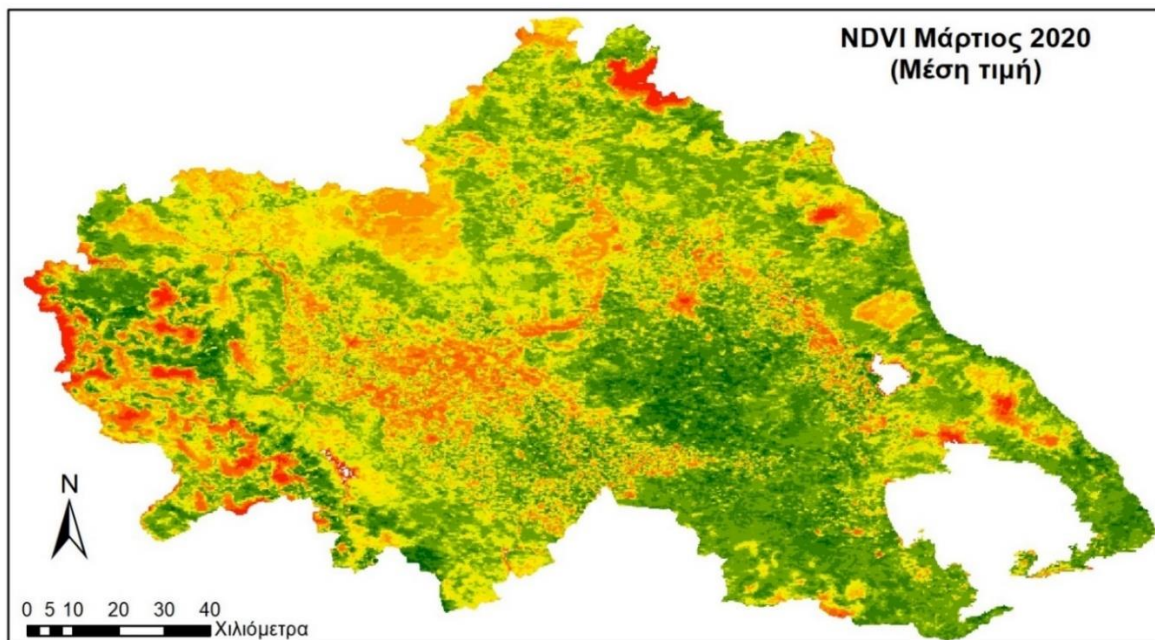
A.1.4 Σύγκριση τιμών NDVI του Φεβρουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Φεβρουαρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση τιμών NDVI του Φεβρουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Φεβρουαρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



A.1.5 Σύγκριση τιμών NDVI του Μαρτίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Μαρτίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

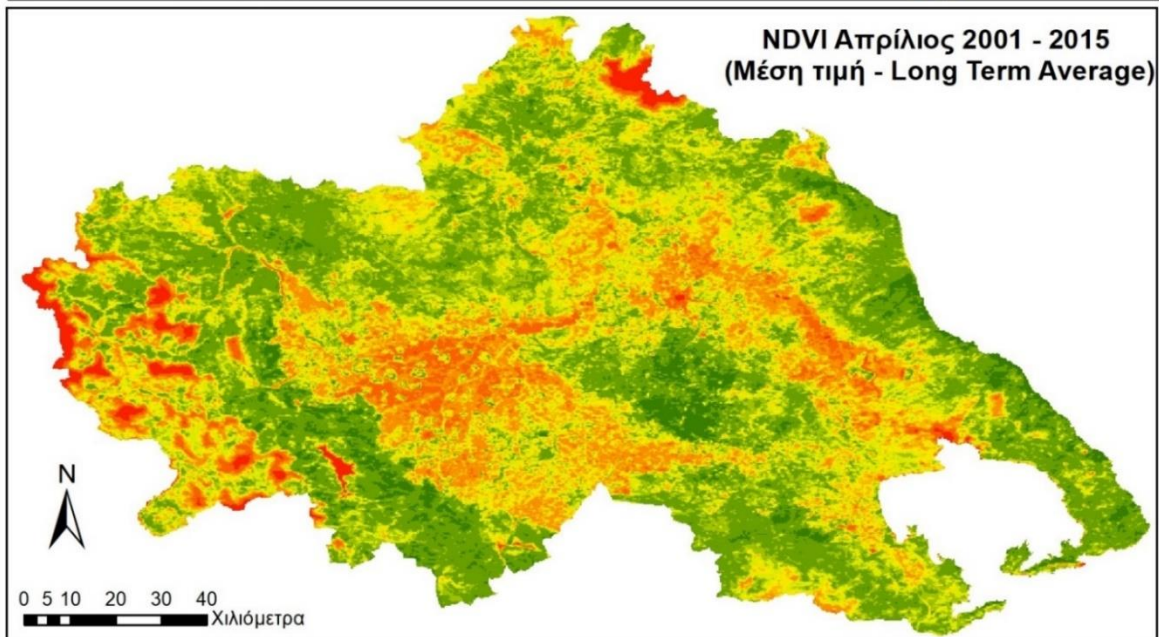
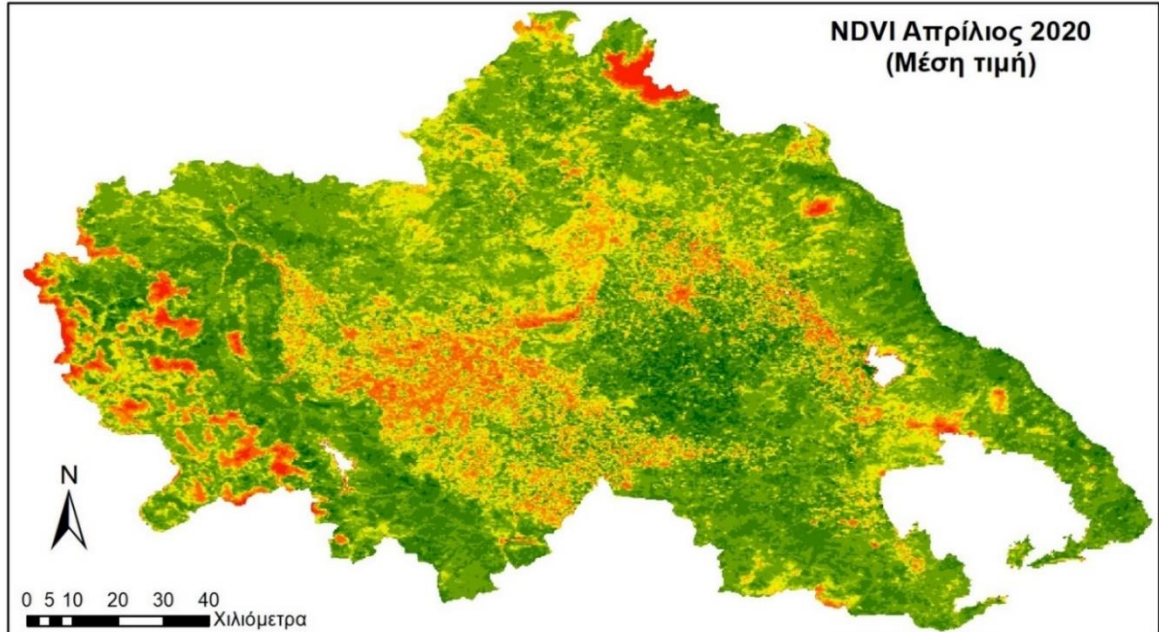
Σύγκριση τιμών NDVI του Μαρτίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Μαρτίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
Βλάστησης NDVI	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.6 Σύγκριση τιμών NDVI του Απριλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Απριλίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

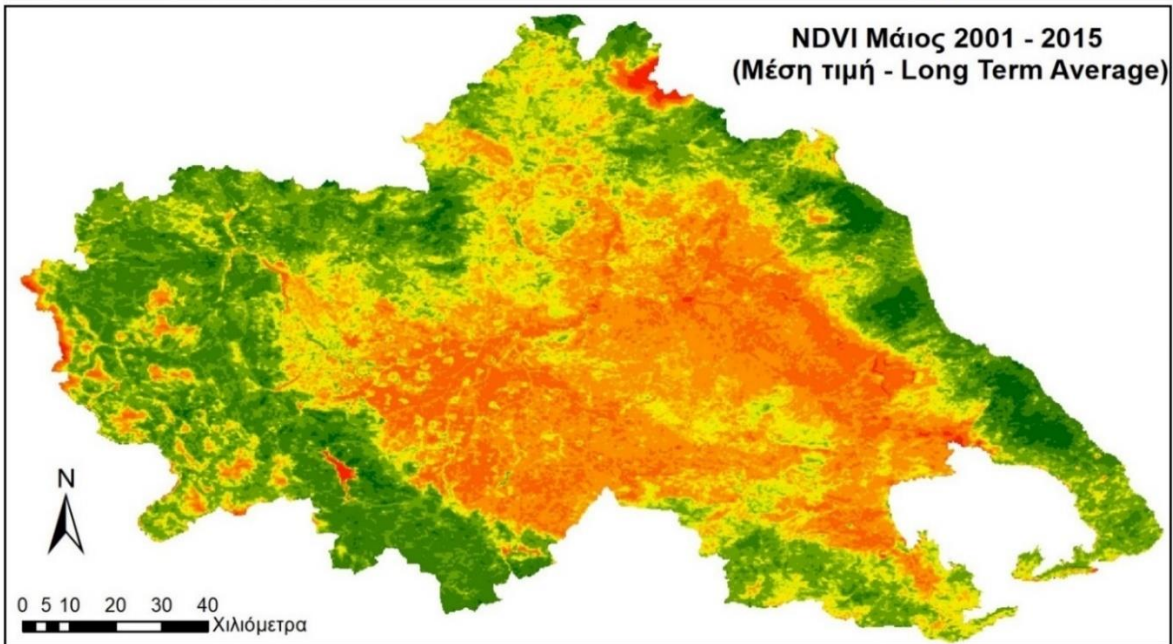
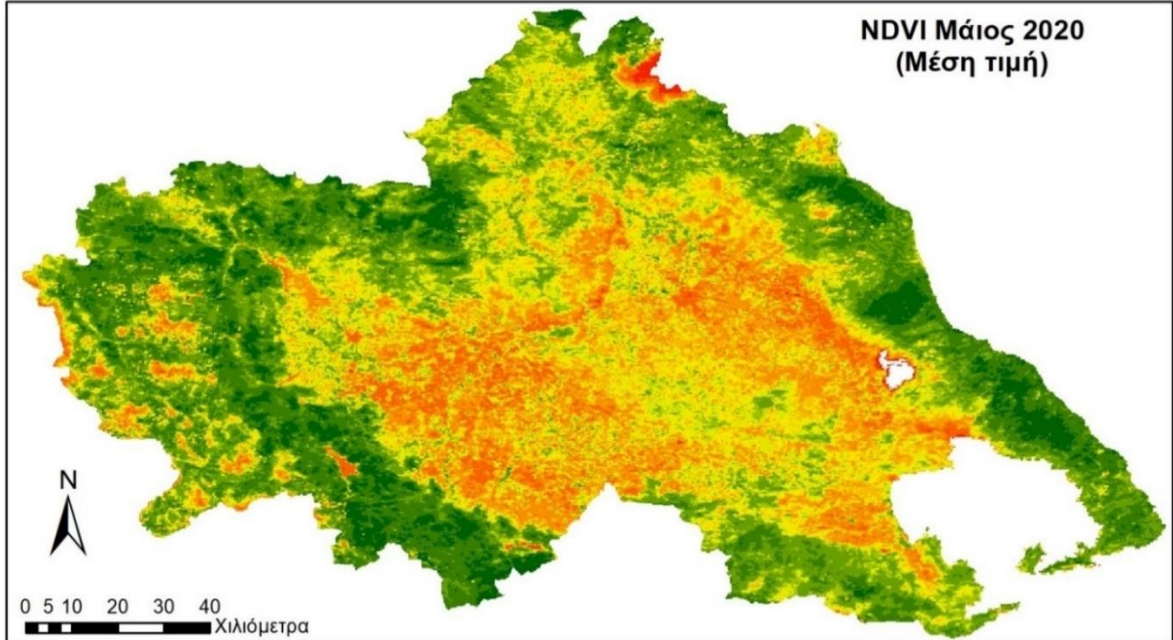
Σύγκριση τιμών NDVI του Απριλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Απριλίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	 -0,05 - 0,2	 0,45 - 0,5	 0,6 - 0,65	 0,85 - 0,98
	 0,2 - 0,35	 0,5 - 0,55	 0,65 - 0,75	
	 0,35 - 0,45	 0,55 - 0,6	 0,75 - 0,85	

A.1.7 Σύγκριση τιμών NDVI του Μαΐου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Μαΐου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

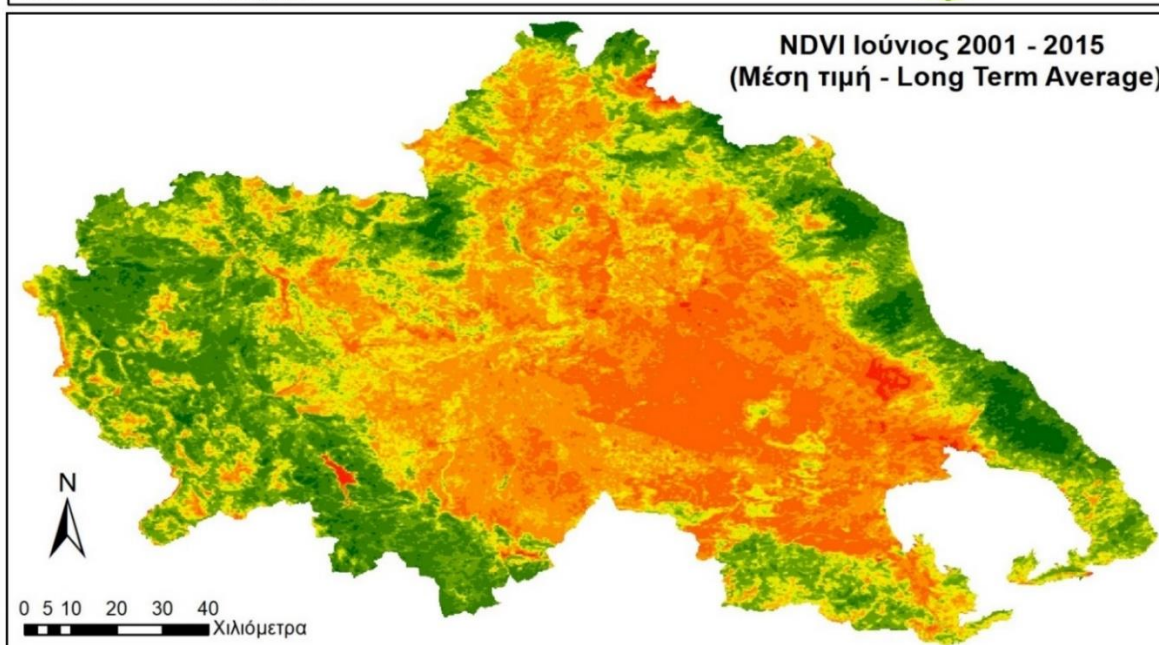
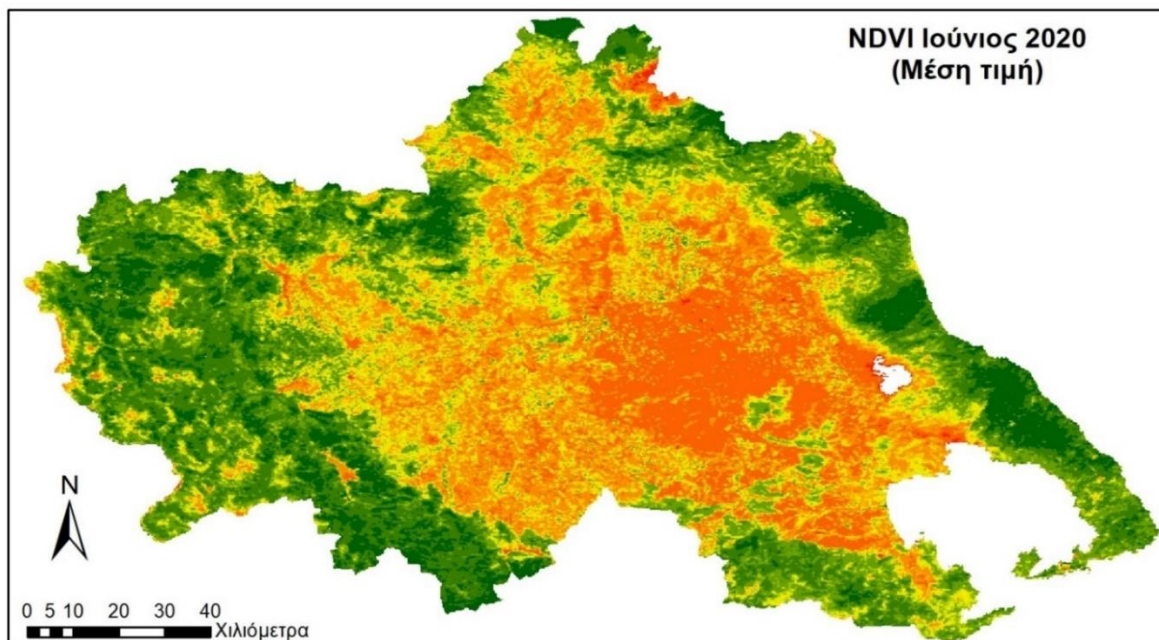
Σύγκριση τιμών NDVI του Μαΐου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Μαΐου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.8 Σύγκριση τιμών NDVI του Ιουνίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιουνίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

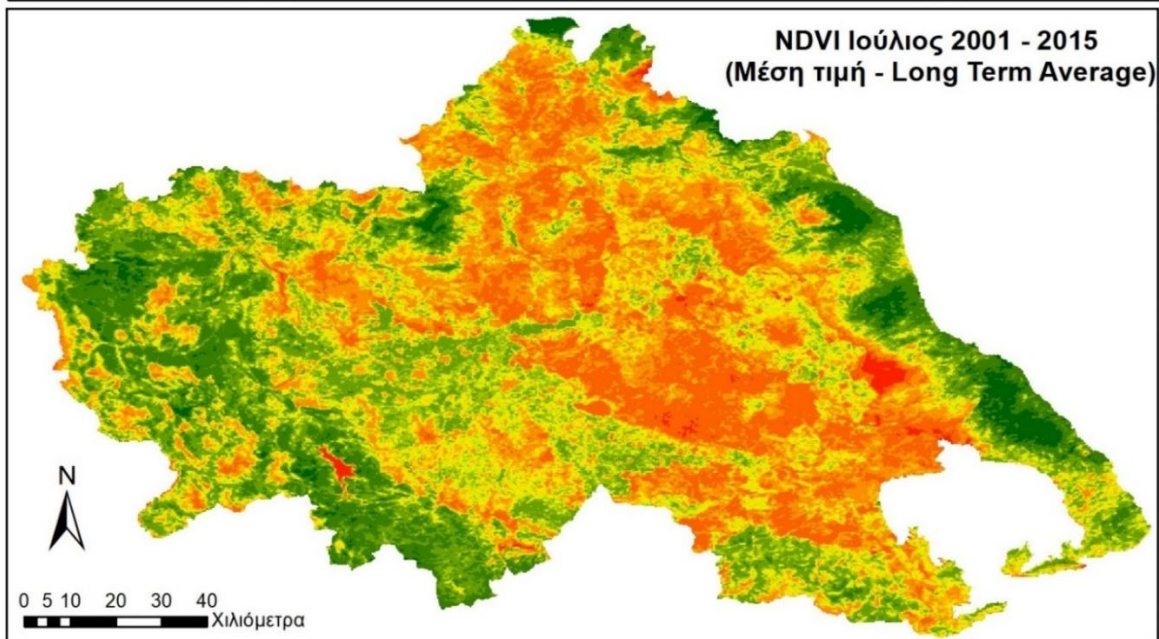
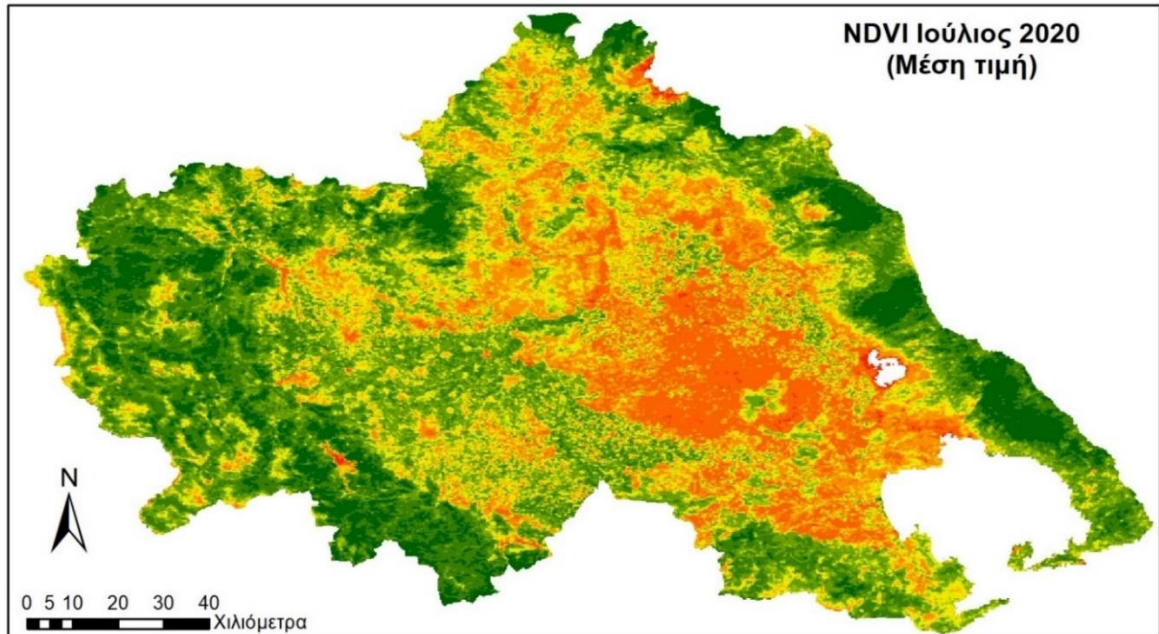
Σύγκριση τιμών NDVI του Ιουνίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιουνίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	-0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	0,75 - 0,85
	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.9 Σύγκριση τιμών NDVI του Ιουλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιουλίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

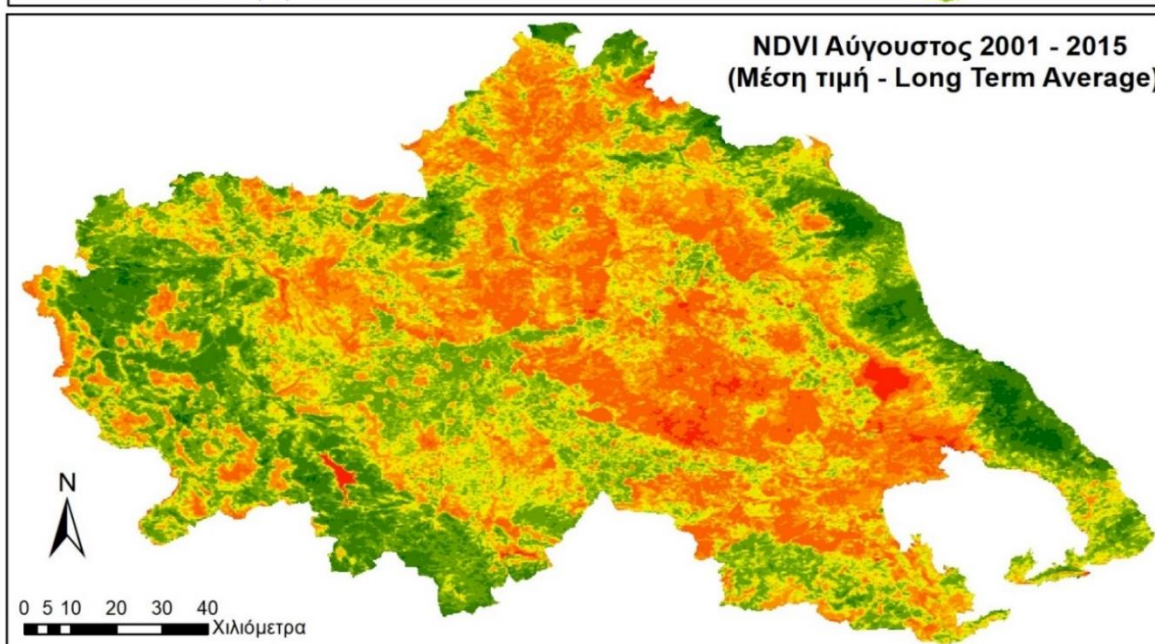
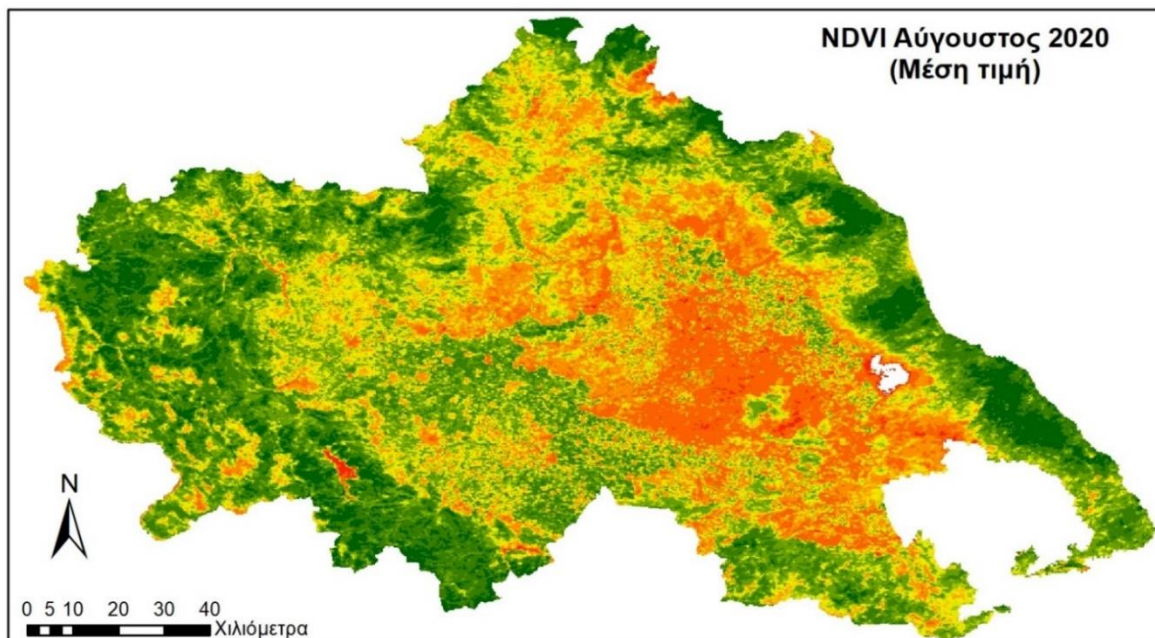
Σύγκριση τιμών NDVI του Ιουλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Ιουλίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	 -0,05 - 0,2	 0,45 - 0,5	 0,6 - 0,65	 0,85 - 0,98
	 0,2 - 0,35	 0,5 - 0,55	 0,65 - 0,75	
	 0,35 - 0,45	 0,55 - 0,6	 0,75 - 0,85	

A.1.10 Σύγκριση τιμών NDVI του Αυγούστου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Αυγούστου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

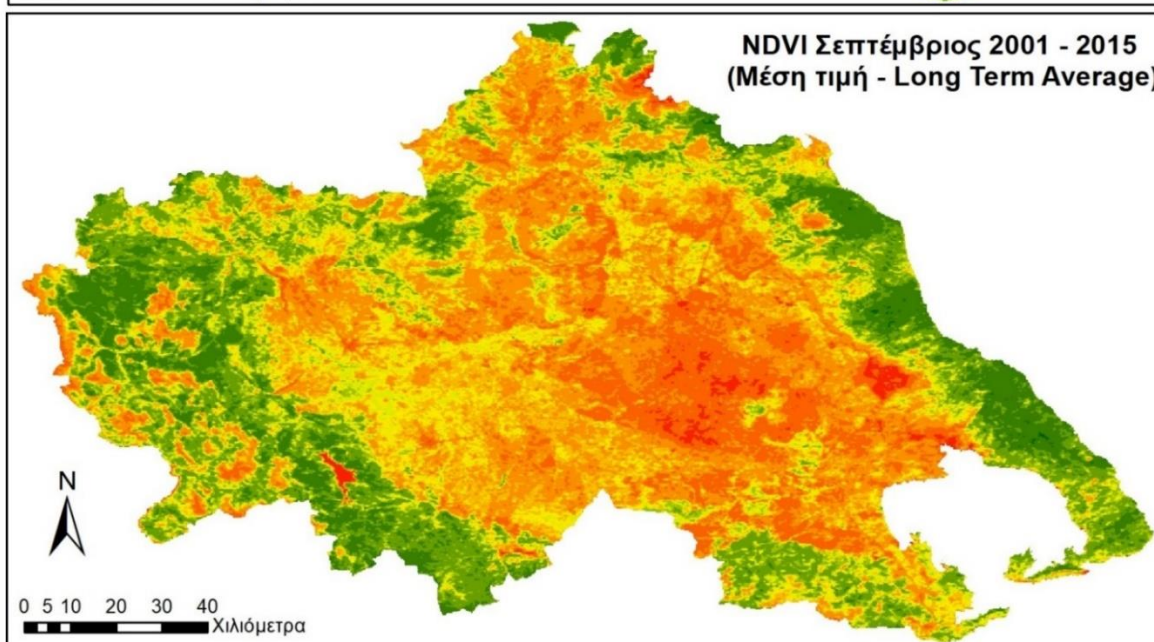
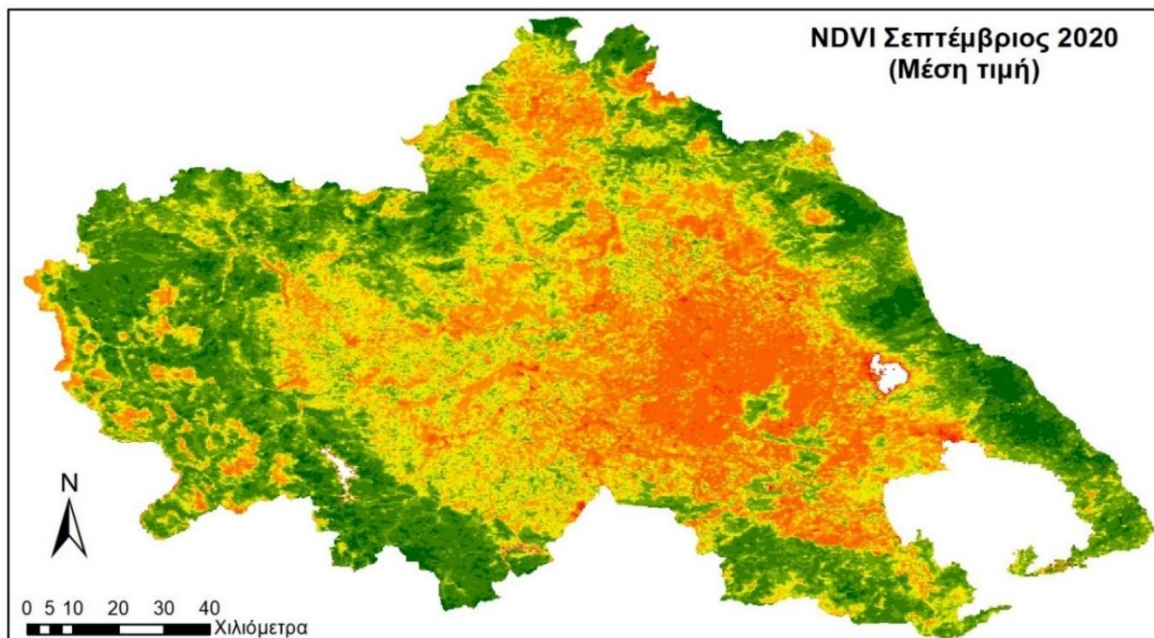
Σύγκριση τιμών NDVI του Αυγούστου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Αυγούστου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
Βλάστησης NDVI	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.11 Σύγκριση τιμών NDVI του Σεπτεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Σεπτεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

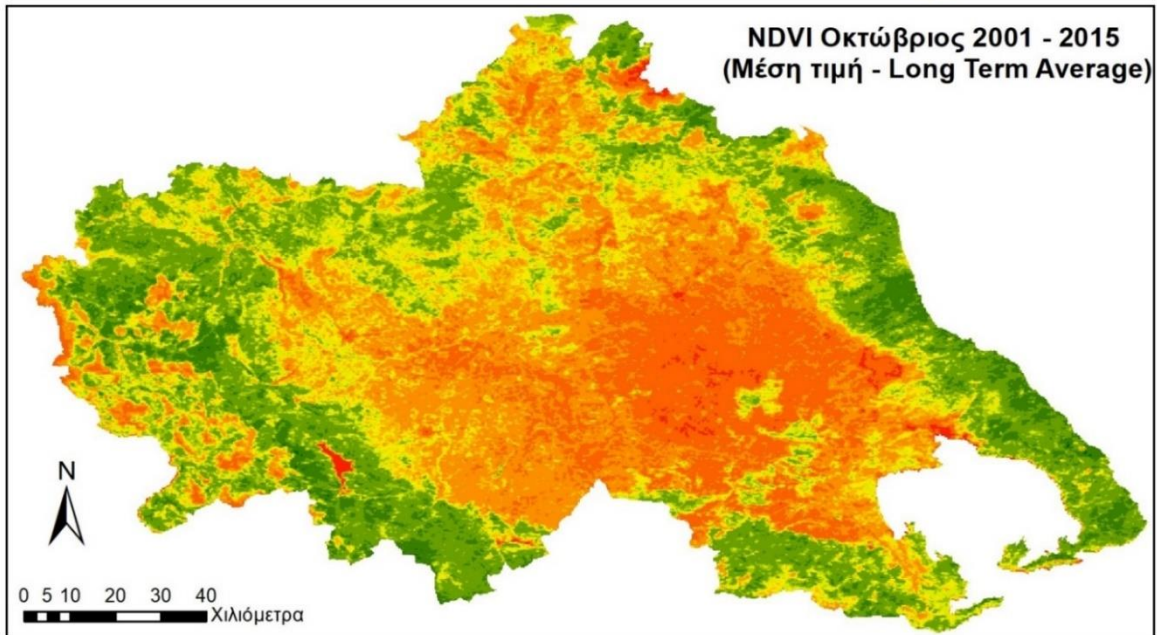
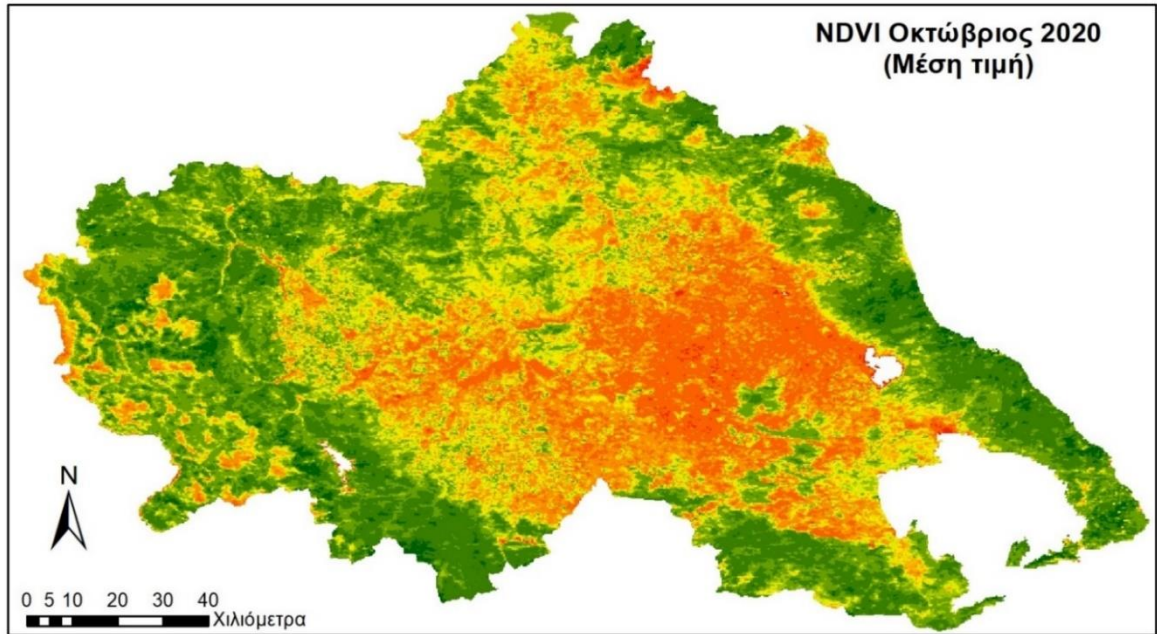
Σύγκριση τιμών NDVI του Σεπτεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Σεπτεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	-0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.12 Σύγκριση τιμών NDVI του Οκτωβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Οκτωβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

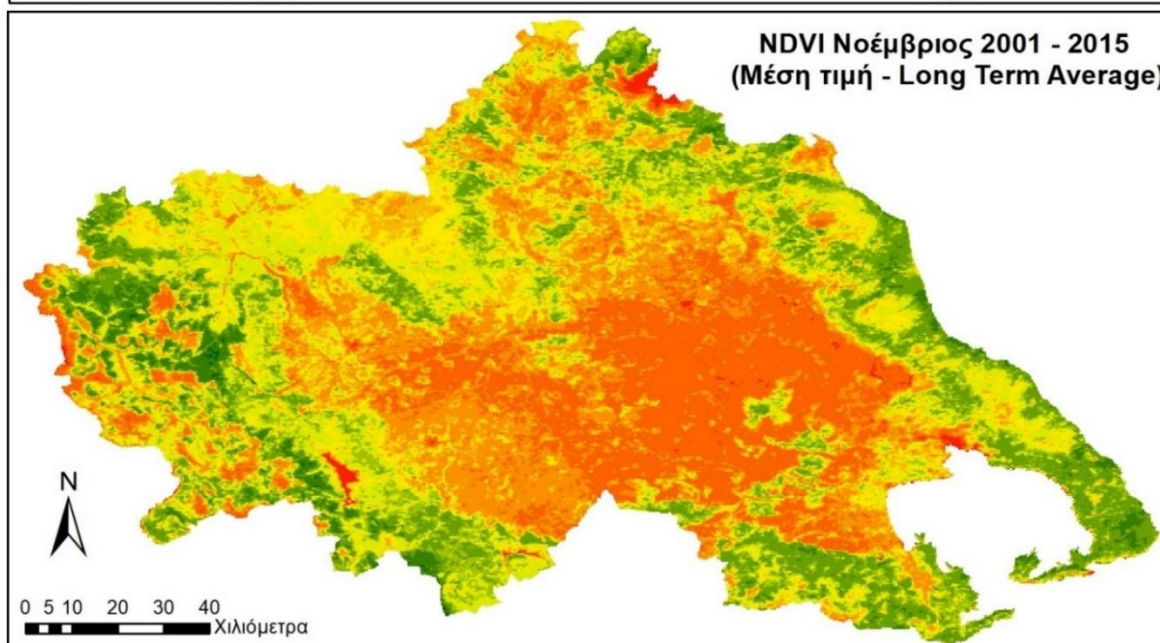
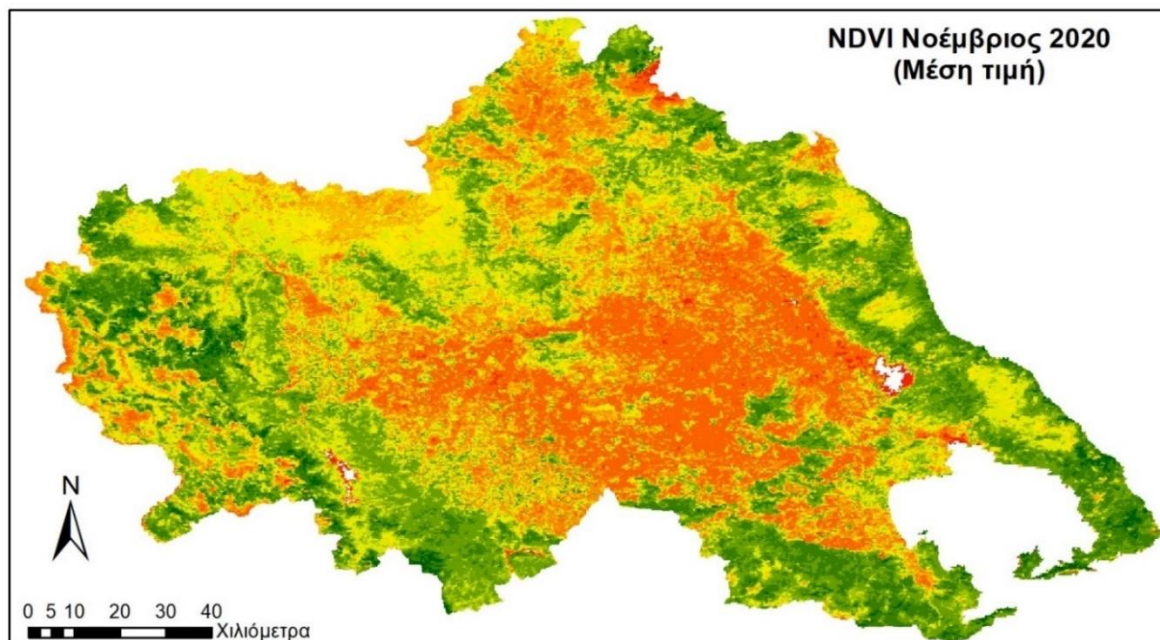
Σύγκριση τιμών NDVI του Οκτωβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Οκτωβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	-0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.13 Σύγκριση τιμών NDVI του Νοεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Νοεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

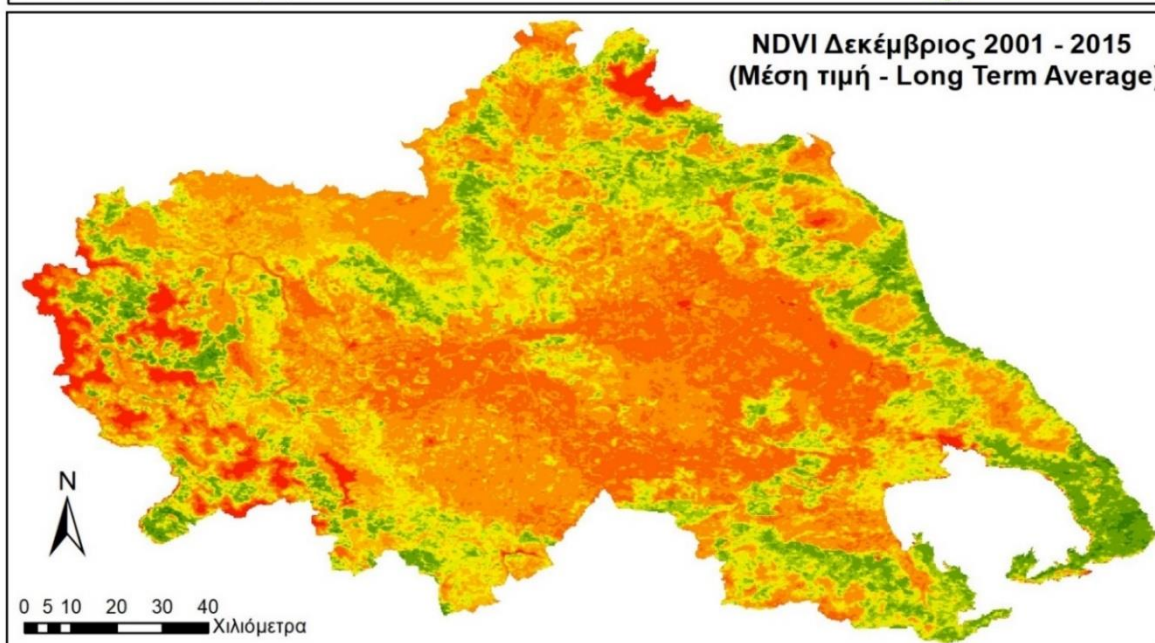
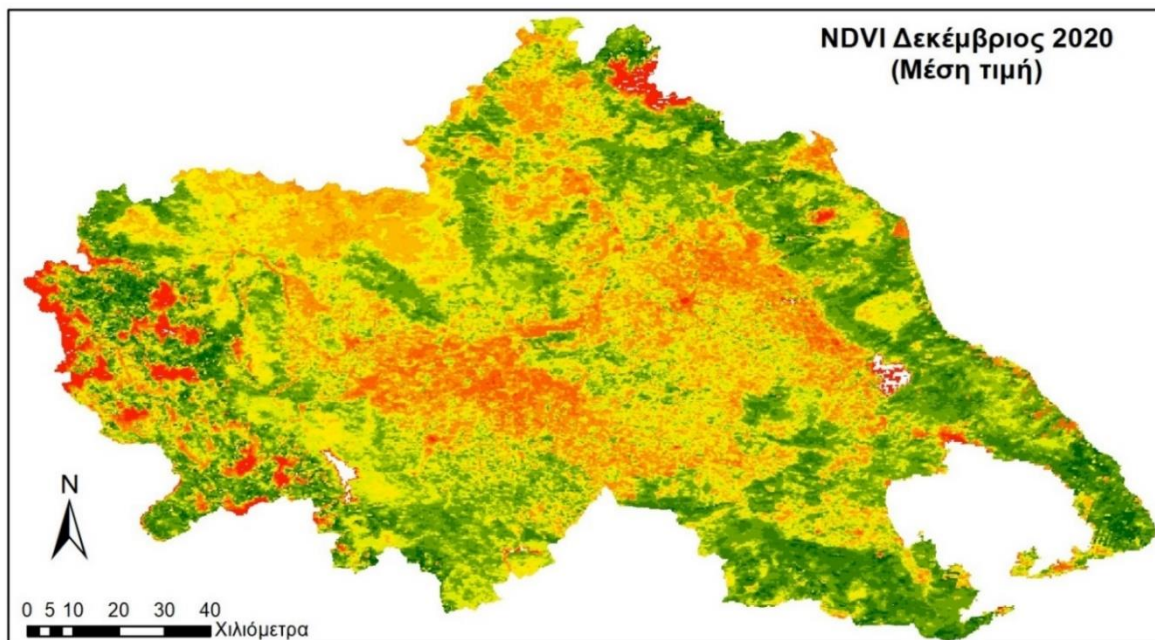
Σύγκριση τιμών NDVI του Νοεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Νοεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη Βλάστησης NDVI	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

A.1.14 Σύγκριση τιμών NDVI του Δεκεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Δεκεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση τιμών NDVI του Δεκεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο τιμών Δεκεμβρίου (Long Term Average) της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	0,05 - 0,2	0,45 - 0,5	0,6 - 0,65	0,85 - 0,98
Εύρος Τιμών Δείκτη	0,2 - 0,35	0,5 - 0,55	0,65 - 0,75	
Βλάστησης NDVI	0,35 - 0,45	0,55 - 0,6	0,75 - 0,85	

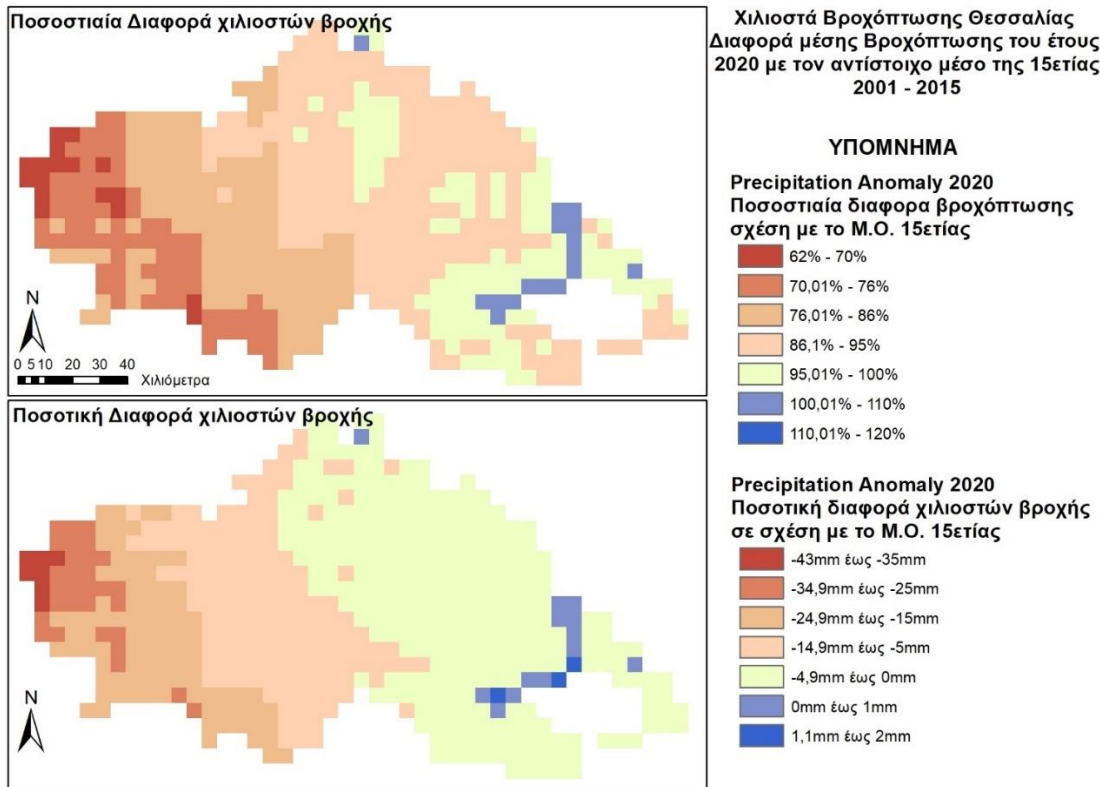
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

B.1 Βροχόπτωση στη Θεσσαλία – Συγκριτική Χαρτογραφική Απεικόνιση

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση της μέσης τιμής του έτους 2020 με τον αντίστοιχο ετήσιο μέσο όρο της 15ετίας 2001 – 2015 αλλά και η αντίστοιχη μηνιαία σύγκριση. Δηλαδή σύγκριση του κάθε μήνα του έτους αναφοράς με τον αντίστοιχο μέσο όρο του ίδιου μήνα για την δεκαπενταετία 2001 – 2015. Η ανάλυση αυτή οδήγησε την δημιουργία των παρακάτω:

- Ποσοστιαία και ποσοτική διαφορά μέσης βροχόπτωσης του έτους 2020 με την αντίστοιχη μέση τιμή της δεκαπενταετίας 2001 – 2015. Η διαφορά απεικονίζεται ποσοστιαία στο πρώτο raster του χάρτη αλλά και ποσοτικά στο δεύτερο raster (1 ζεύγος χαρτών – B.1.1), καθώς και στο διάγραμμα 1.5.
- Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης του εκάστοτε μήνα του έτους 2020 με την αντίστοιχη μέση τιμή της δεκαπενταετίας 2001 – 2015 στη Θεσσαλία (12 ζεύγη χαρτών B.1.2 έως B.1.13)

B.1.1 Χιλιοστά Βροχόπτωσης Θεσσαλίας - Διαφορά μέσης Βροχόπτωσης του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο της 15ετίας 2001 – 2015

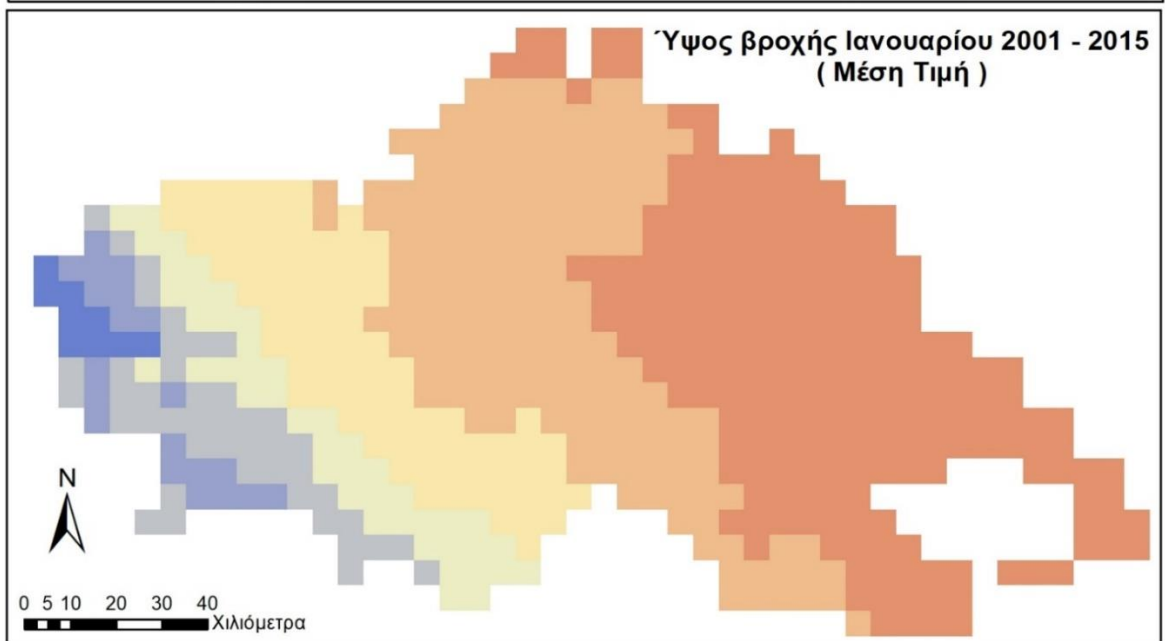
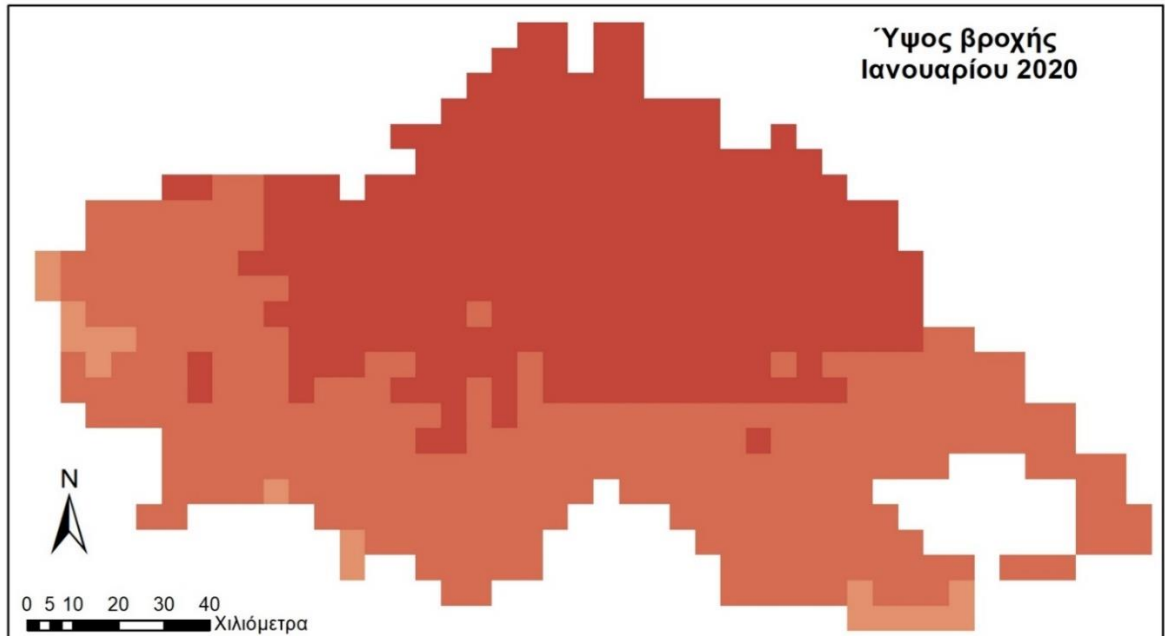


Διάγραμμα 1.5: Χιλιοστά Βροχόπτωσης Θεσσαλίας - Διαφορά μέσης Βροχόπτωσης του έτους 2020 με τον αντίστοιχο μέσο της 15ετίας 2001 – 2015



B.1.2 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιανουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιανουαρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

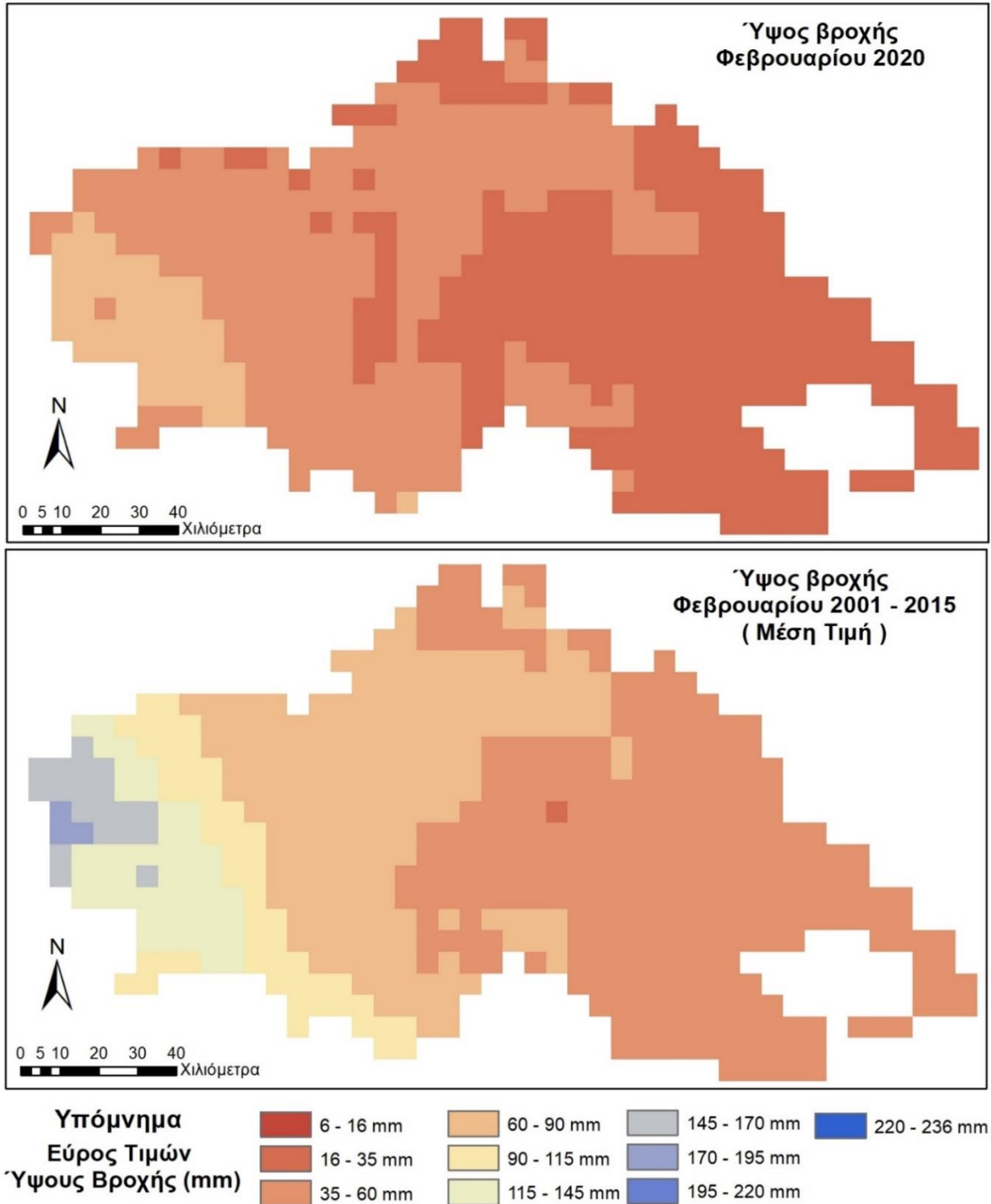
Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιανουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιανουαρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	6 - 16 mm	60 - 90 mm	145 - 170 mm	220 - 236 mm
Εύρος Τιμών	16 - 35 mm	90 - 115 mm	170 - 195 mm	
Ύψους Βροχής (mm)	35 - 60 mm	115 - 145 mm	195 - 220 mm	

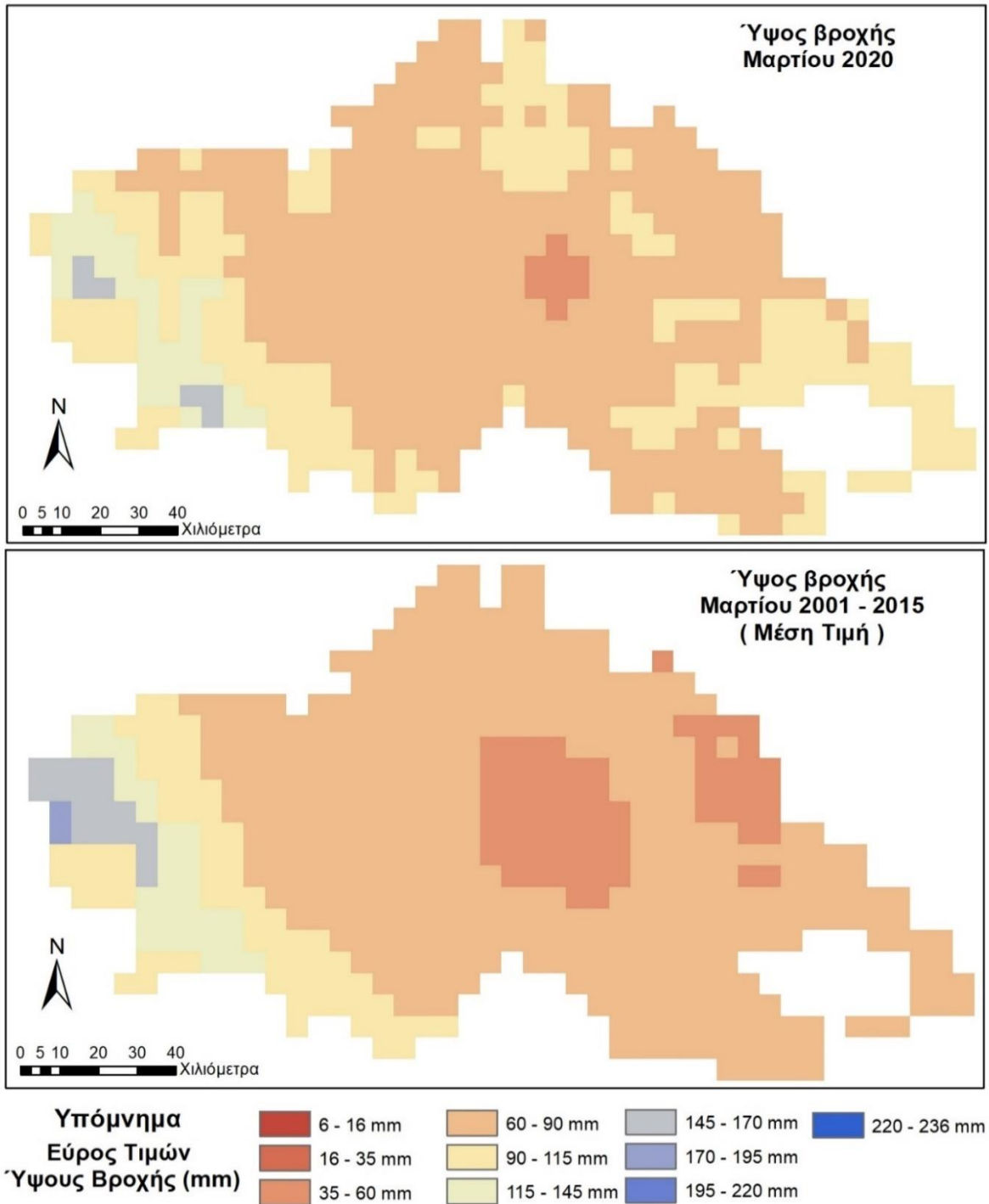
B.1.3 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Φεβρουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Φεβρουαρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Φεβρουαρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Φεβρουαρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



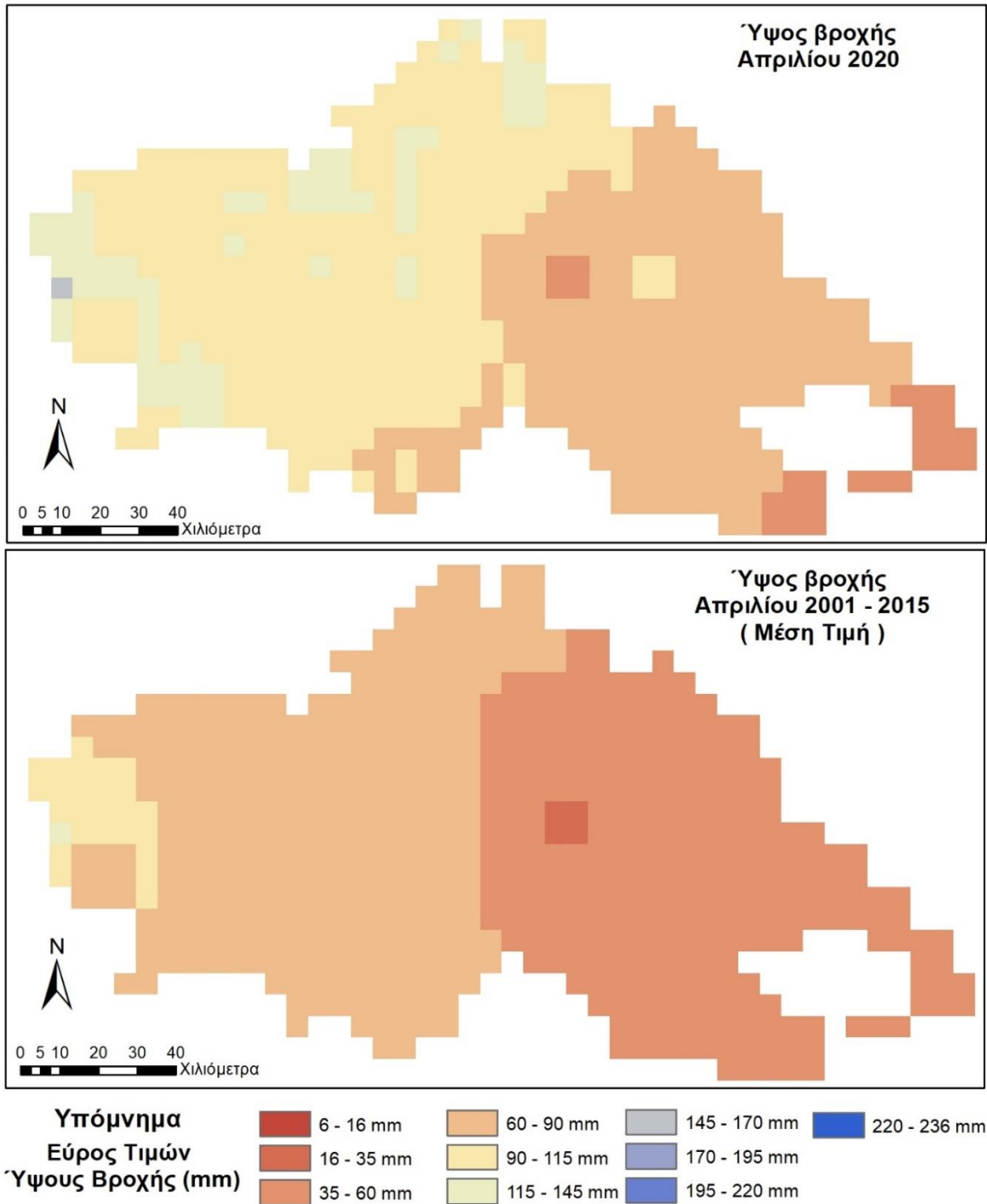
B.1.4 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Μαρτίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Μαρτίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Μαρτίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Μαρτίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



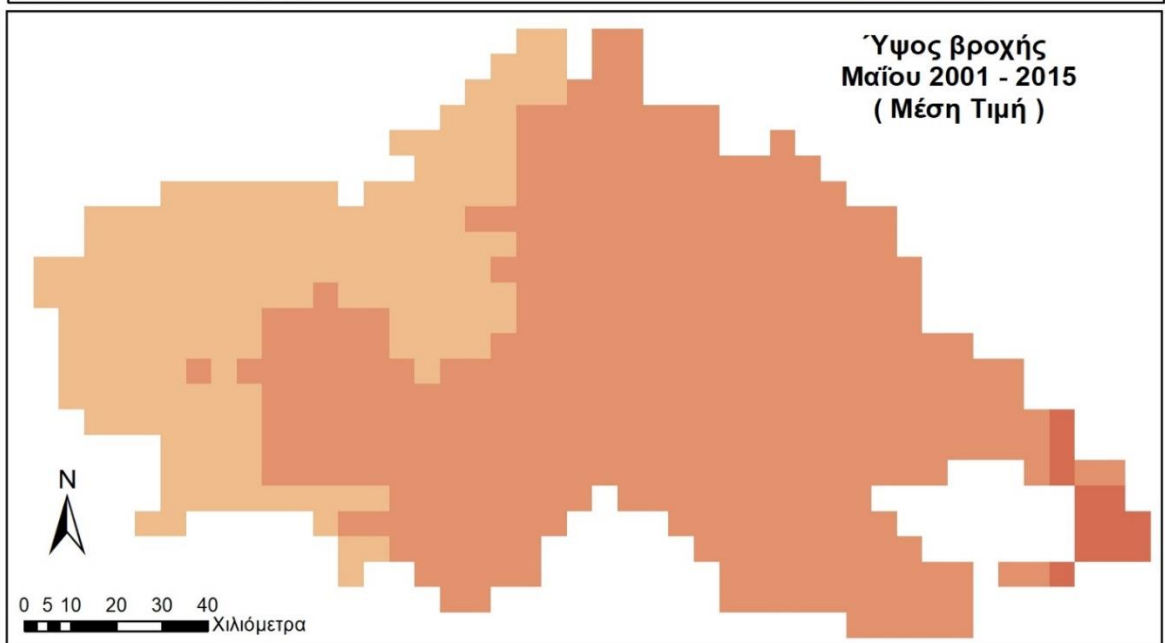
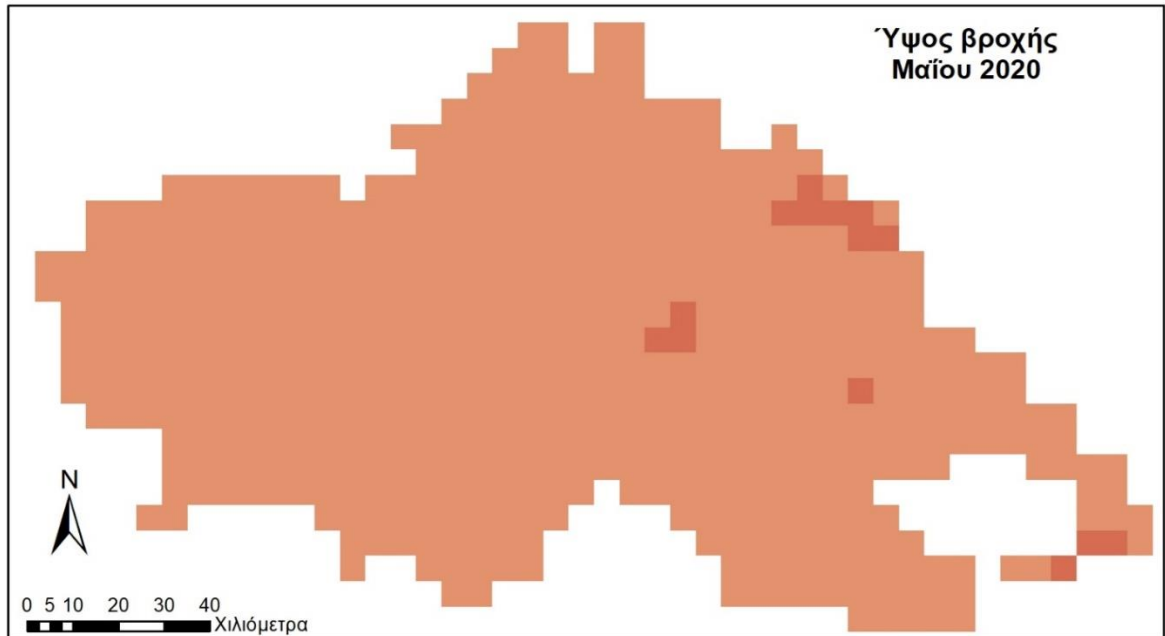
B.1.5 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Απριλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Απριλίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Απριλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Απριλίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



B.1.6 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Μαΐου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Μαΐου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

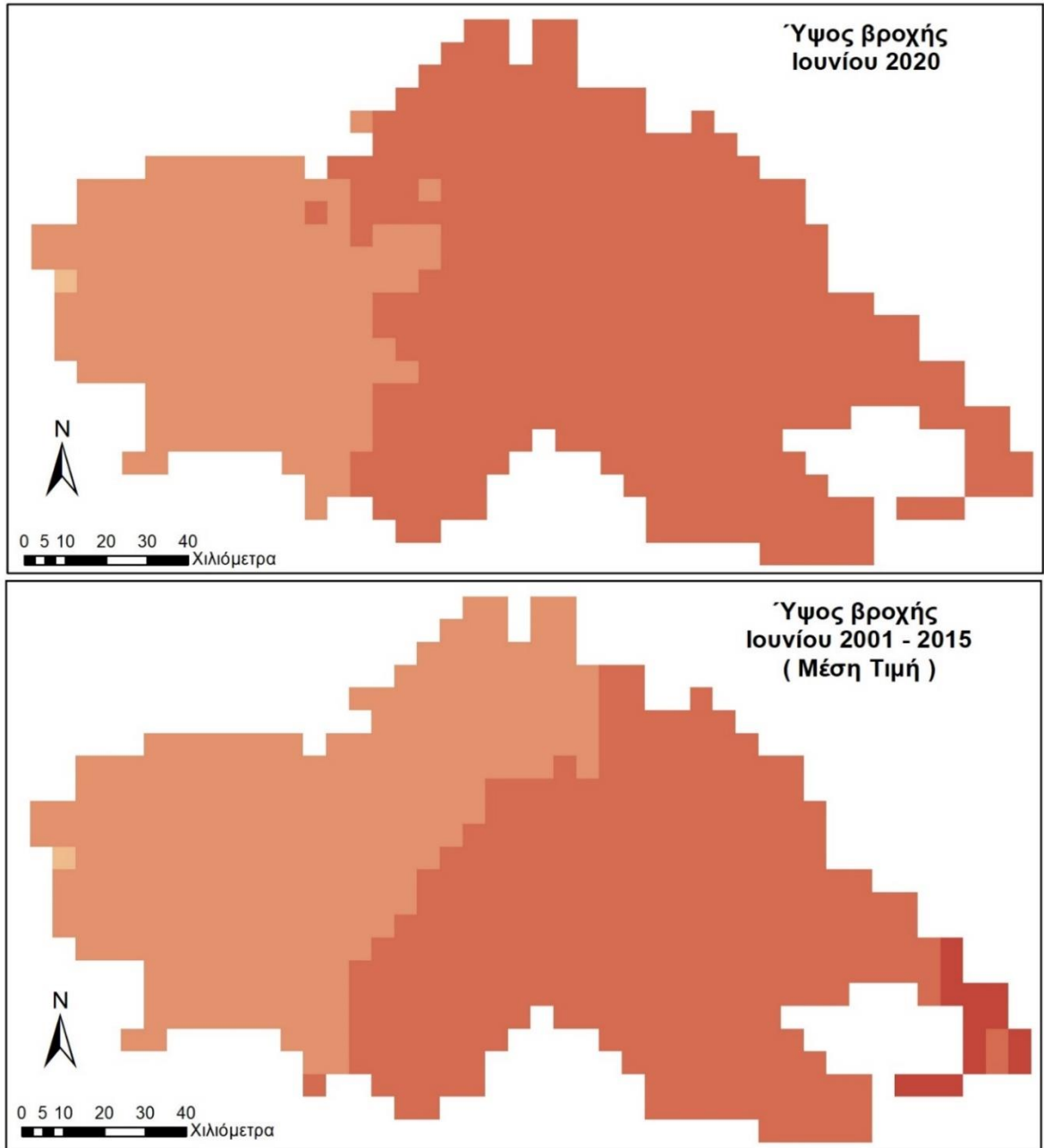
Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Μαΐου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Μαΐου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	6 - 16 mm	60 - 90 mm	145 - 170 mm	220 - 236 mm
Εύρος Τιμών	16 - 35 mm	90 - 115 mm	170 - 195 mm	
Ύψους Βροχής (mm)	35 - 60 mm	115 - 145 mm	195 - 220 mm	

B.1.7 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιουνίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιουνίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

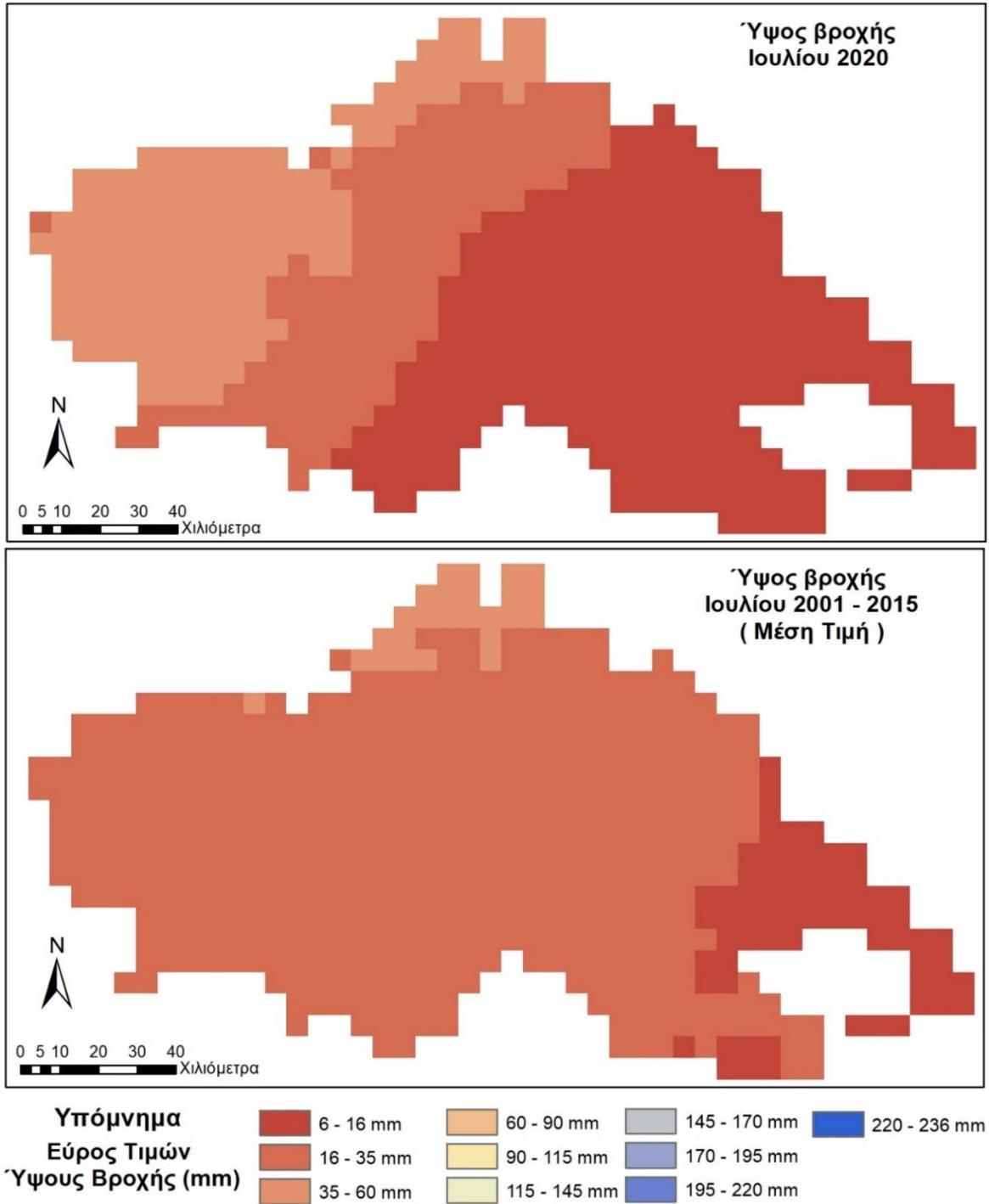
Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιουνίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιουνίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	6 - 16 mm	60 - 90 mm	145 - 170 mm	220 - 236 mm
Εύρος Τιμών	16 - 35 mm	90 - 115 mm	170 - 195 mm	195 - 220 mm
Ύψους Βροχής (mm)	35 - 60 mm	115 - 145 mm		

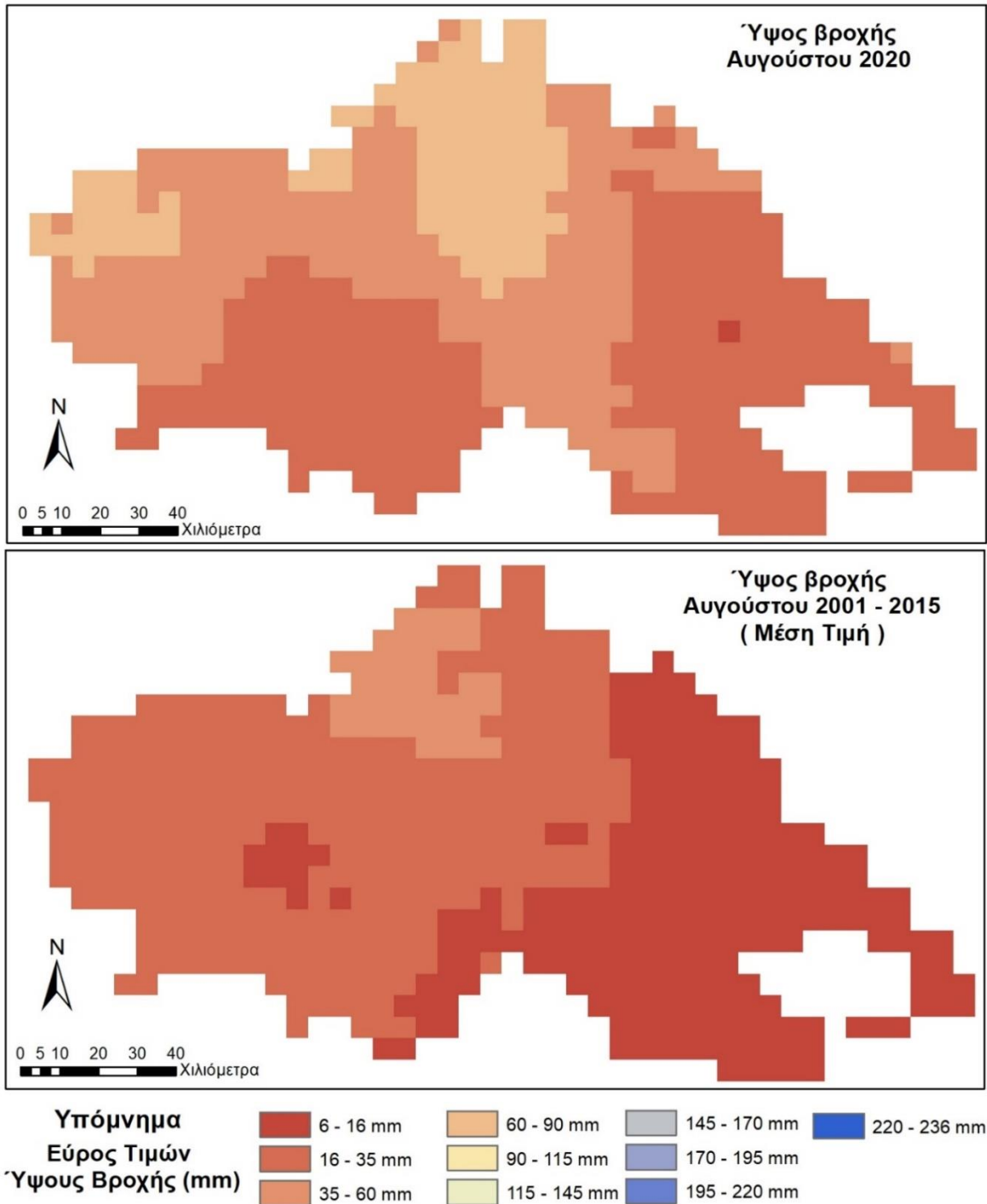
B.1.8 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιουλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιουλίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Ιουλίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Ιουλίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



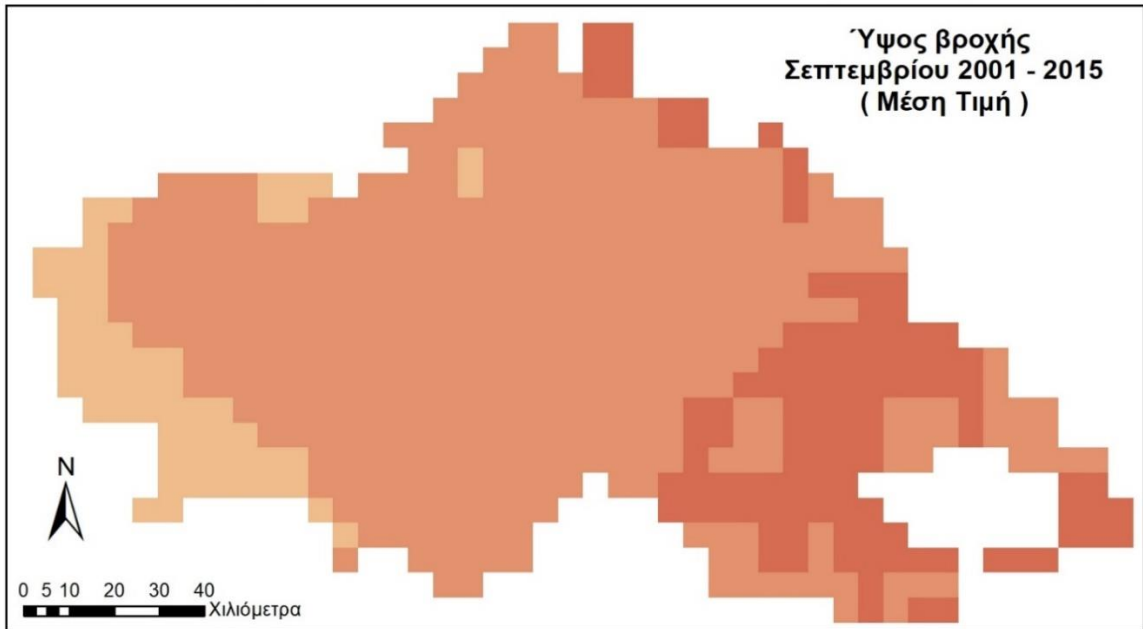
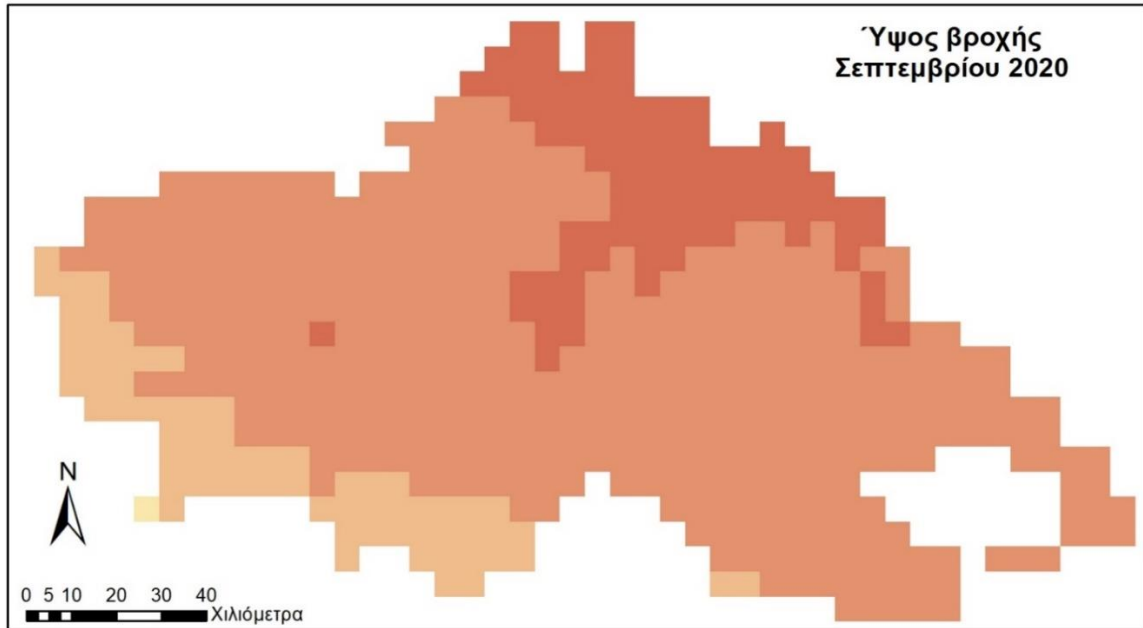
B.1.9 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Αυγούστου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Αυγούστου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Αυγούστου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Αυγούστου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



B.1.10 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Σεπτεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Σεπτεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

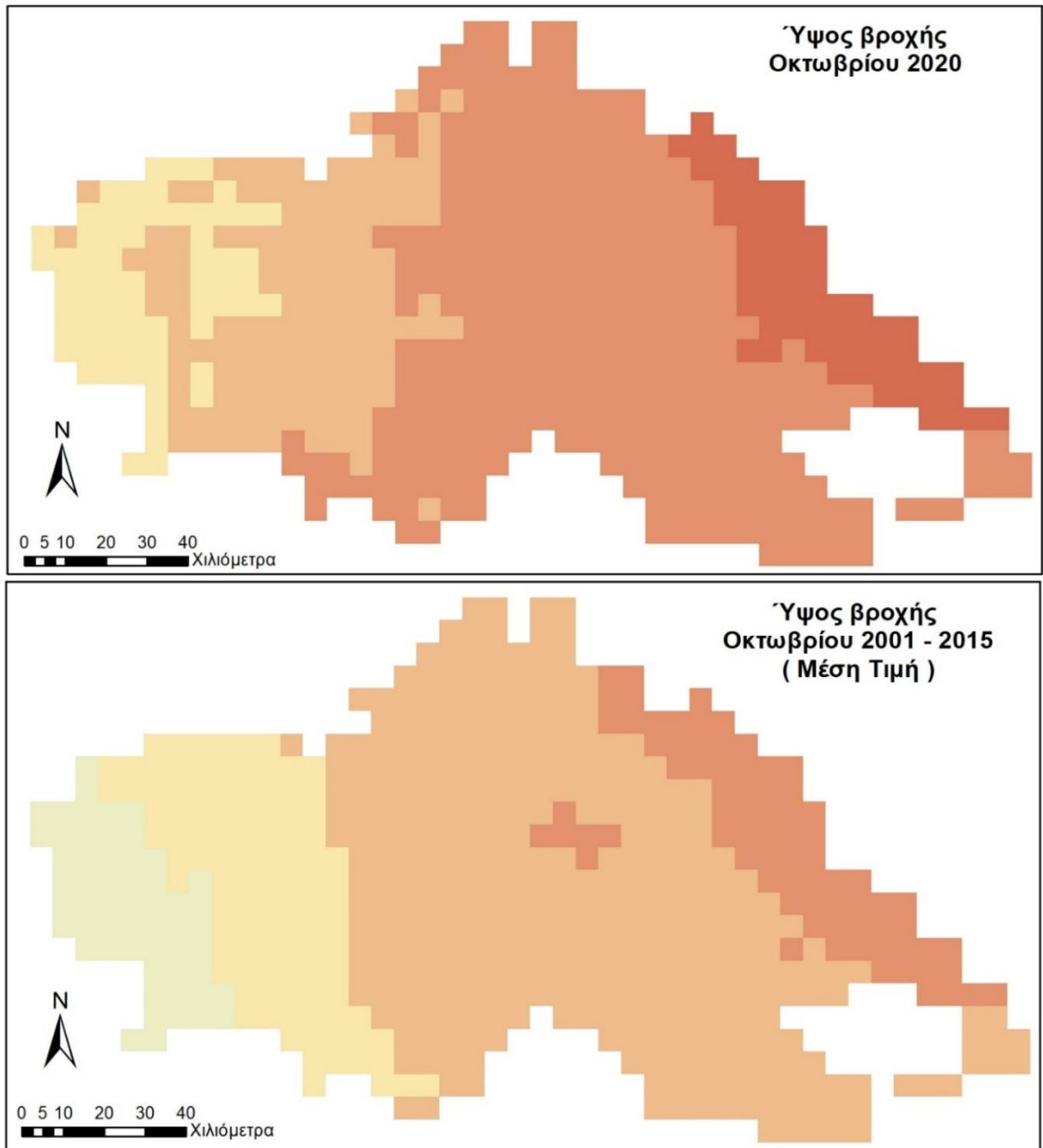
Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Σεπτεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Σεπτεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	6 - 16 mm	60 - 90 mm	145 - 170 mm	220 - 236 mm
Εύρος Τιμών	16 - 35 mm	90 - 115 mm	170 - 195 mm	
Ύψους Βροχής (mm)	35 - 60 mm	115 - 145 mm	195 - 220 mm	

B.1.11 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Οκτωβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Οκτωβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

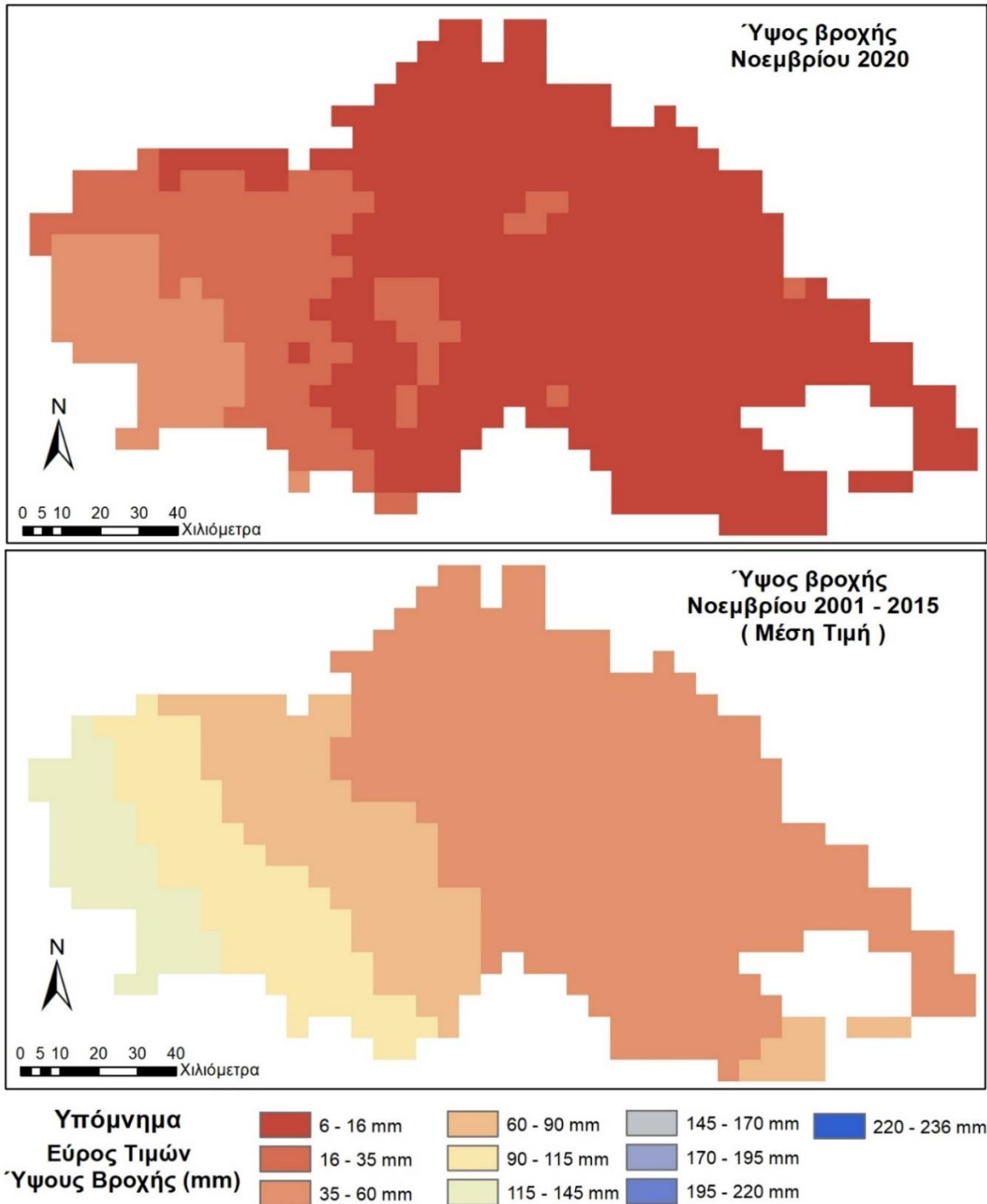
Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Οκτωβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Οκτωβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



Υπόμνημα	6 - 16 mm	60 - 90 mm	145 - 170 mm	220 - 236 mm
Εύρος Τιμών	16 - 35 mm	90 - 115 mm	170 - 195 mm	
Ύψους Βροχής (mm)	35 - 60 mm	115 - 145 mm	195 - 220 mm	

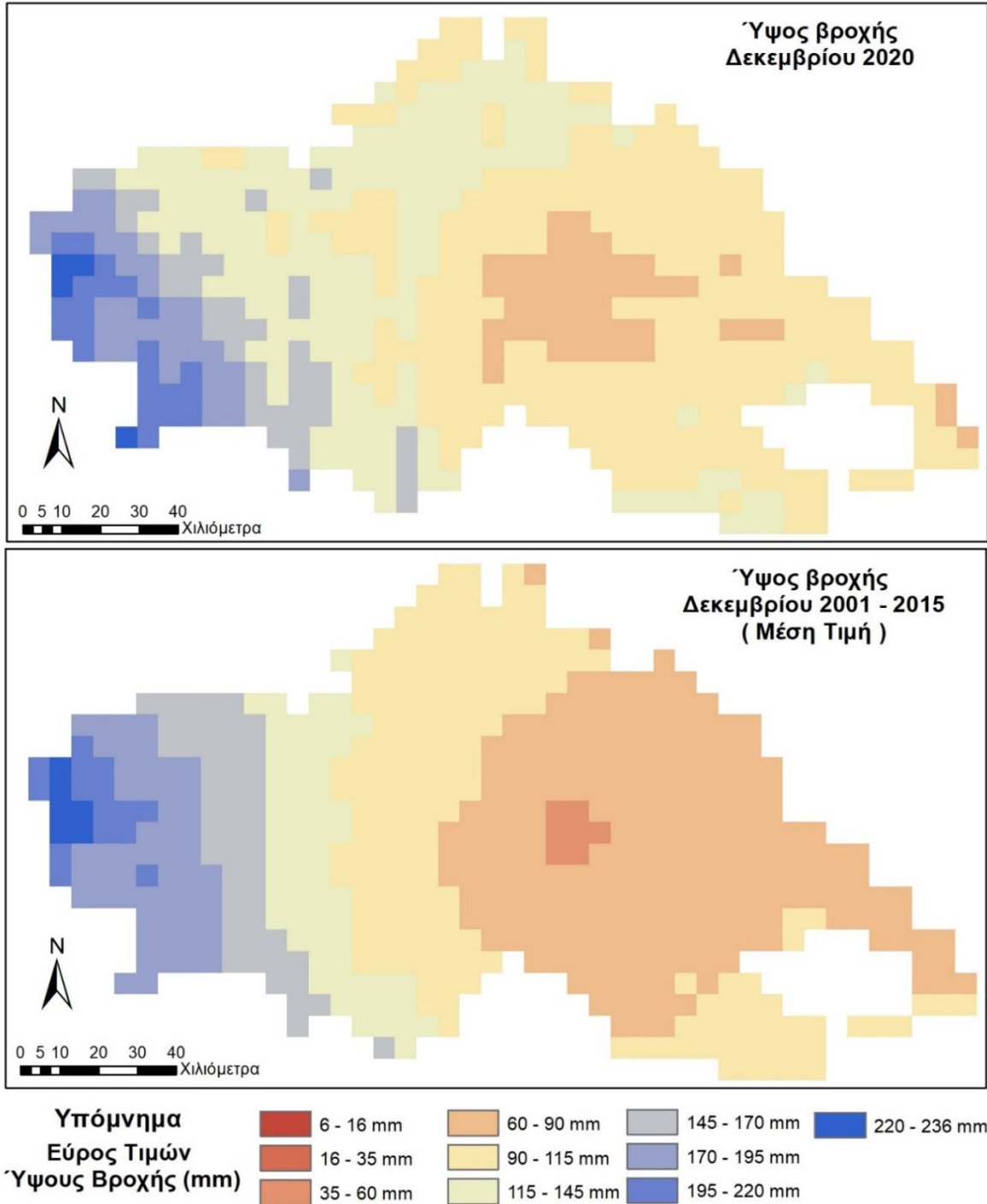
B.1.12 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Νοεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Νοεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Νοεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Νοεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



B.1.13 Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Δεκεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Δεκεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.

Σύγκριση ύψους βροχόπτωσης Δεκεμβρίου 2020 με τον αντίστοιχο μέσο όρο Δεκεμβρίου της 15ετίας 2001 - 2015 στη Θεσσαλία.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

- ο Γ.1 Αποτελέσματα Pearson's correlation από SPSS v.25

CORRELATIONS

/VARIABLES=NDVI precipitation

Correlations

Notes

Output Created		14-APR-2021 19:34:45
Comments		
Input	Data	C:\Users\APo\Google Drive\2. ΤΜΧΠΠΙΑ\5ο Ετος\10ο Εξάμηνο\Διπλωματική Drought monitoring\Κεφάλαια Διπλωματικής\ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ SPSS\pearsons_droughtand_climatology.sav
Active Dataset		DataSet1
Filter		<none>
Weight		<none>
Split File		<none>
N of Rows in Working Data File		20
Missing Handling	Value Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.

	Cases Used	Statistics for each pair of variables are based on all the cases with valid data for that pair.
Syntax		CORRELATIONS /VARIABLES=NDVI precipitation /PRINT=TWOTAIL NOSIG /MISSING=PAIRWISE.
Resources	Processor Time	00:00:00,02
	Elapsed Time	00:00:00,05

Correlations

		NDVI	precipitation
NDVI	Pearson Correlation	1	.497*
	Sig. (2-tailed)		.026
	N	20	20
precipitation	Pearson Correlation	.497*	1
	Sig. (2-tailed)	.026	
	N	20	20

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

CORRELATIONS

/VARIABLES=NDVI LST

Correlations

Notes

Output Created		14-APR-2021 19:35:12
Comments		
Input	Data	C:\Users\APo\Google Drive\2. ΤΜΧΠΠΑ\5ο Ετος\10ο Εξάμηνο\Διπλωματική Drought monitoring\Κεφάλαια Διπλωματικής\ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ SPSS\pearsons_droughtand_climatology.sav
	Active Dataset	DataSet1
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	20
Missing Handling	Value Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each pair of variables are based on all the cases with valid data for that pair.

Syntax		CORRELATIONS /VARIABLES=NDVI LST /PRINT=TWOTAIL NOSIG /MISSING=PAIRWISE.
Resources	Processor Time	00:00:00,00
	Elapsed Time	00:00:00,01

Correlations

		NDVI	LST
NDVI	Pearson Correlation	1	-.380
	Sig. (2-tailed)		.098
	N	20	20
LST	Pearson Correlation	-.380	1
	Sig. (2-tailed)	.098	
	N	20	20

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλμπανάκης Ν. (2020) ‘Διπλωματική εργασία: Ανάλυση δορυφορικού δείκτη ξηρασίας SPI για εκτίμηση υδατικών πόρων στην Θεσσαλία’. Βόλος: Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Αναγνωστοπούλου, Χ. Γ. (2003) ‘Διδακτορική διατριβή: Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο’, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Αποστόλου, Κ. (2010) ‘Διπλωματική Εργασία: χρήση δεικτών για την εκτίμηση και πρόβλεψη της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας’. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γκούμας, Κ. (2006) ‘Οι αρδεύσεις στη Θεσσαλική Πεδιάδα: Επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά’, Θεσσαλονίκη: Πρακτικά ημερίδας Υδατικοί Πόροι και Γεωργία, 39–5 Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2013) ‘Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (GR08)’, Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- Ζούκος, Α, (2018) ‘Διαχείριση ξηρασίας. Σύγκριση των παραδειγμάτων Καλιφόρνιας (2012-2016) και Αθήνας (1988-1993)’, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Ιωακειμίδης, Σ. (2012) ‘Χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την παρακολούθηση, πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών’, Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Κανέλλου, Ε. Χ. (2010) ‘Διδακτορική διατριβή: Περιοχική Εκτίμηση Ξηρασίας’ Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Καραμπουρνιώτης, Κ. (2012) ‘Επισκόπηση δεικτών ξηρασίας: Εφαρμογή του δείκτη Palmer στον Ελληνικό χώρο.’ Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

- Καρτάλης, Κ. και Φειδάς, Χ. (2018) *‘Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης’*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα
- Κουτσογιάννης, Δ., & Μαμάσης, Ν. (2007) *‘Ξηρασία: Φυσικές, κοινωνικές και τεχνολογικές πηγές – το παράδειγμα της Αθήνας’*. Gutenberg.
- Μερτίκας, Στ. (1999) *‘Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας’*, Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.
- Νικολάου, Ε., Γκανάς, Α., Αθανασίου, Ε. και Ρετάλης, Α. (2000) *‘Χρήση δεικτών βλάστησης για τη διαχρονική χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων στην περιοχή του όρους Πεντέλη’*, *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, **11** (3) 258-271.
- Παρχαρίδης, Ι. (2015) *‘Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης [ηλεκτρ. βιβλ.]’*, Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/3960>.
- Περάκης Κ., Φαρασλής Ι., Μουσιάδης Α. (2015) *‘Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες’*, Κάλλιπος.
- Πισμίχος, Ν. (2012). *‘Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία: Χωρικά χαρακτηριστικά περιοχικής ξηρασίας με χρήση τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού’*, Βόλος: ΤΜΧΠΠΑ
- Σταθάκης Δ, Περάκης Κ. και Φαρασλής Ι, (2008) *‘Διαχρονική ανάλυση χρήσεων γης με βάση τα δεδομένα του ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE εξετάζοντας τον πίνακα αλλαγών’*, Βόλος: Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τσακνάκης, Α. (2005) *‘Ανάπτυξη εφαρμογής διαδικτυακού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών για τη διαχείριση παράκτιων περιοχών’*, Διπλωματική Εργασία, Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Τσίρος Εμ. (2006) *‘Μεταπτυχιακή Διατριβή: Ο Δείκτης βλάστησης (NDVI) και άλλοι Δείκτες στην Παρακολούθηση της Υδρολογικής Ξηρασίας’*, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Χατζόπουλος, Ι. (2012) *‘Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία’*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα
- Χρυσουλάκης, Ν. (2000). *Ανάπτυξη πρότυπου αλγόριθμου για την ανίχνευση και παρακολούθηση μετώπων φωτιάς και λοφίων που προκαλούνται από βιομηχανικά*

ατυχήματα με χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Φυσικής, Τομέας Φυσικής Εφαρμογών, Εργαστήριο Μετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aadhar, S. & Mishra, V. (2017) 'High-resolution near real-time drought monitoring in South Asia', *Sci Data*, **4** 145 - 170.

Akhoondzadeh, M. & Saradjian, M. R. (2008). Comparison of Land Surface Temperature Mapping Using MODIS and ASTER Images in Semi-Arid Area, 873-876.

Alcamo, J., Florke, M., Marker, M. (2007) 'Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes', *Flydrol. Sci.*, **52** 247-275.

Ali, S., Haixing, Z., Qi, M., Liang, S., Ning, J., Jia, Q. & Hou, F. (2021) 'Monitoring drought events and vegetation dynamics in relation to climate change over mainland China from 1983 to 2016', *Environ Sci Pollut Res Int*, **1** 20-25.

Anagnostopoulou, C. (2003) 'A contribution of drought analysis in Greece', Thessaloniki Greece: Aristotle University of Thessaloniki. Ph. D. Dissertation.

Anyamba, A. Tucker C.J. (2012) 'Historical perspective of AVHRR NDVI and vegetation drought monitoring', *Remote Sensing of Drought: Innovative Monit Approaches*, **1** 23.

Barrett, E. and Curtis, L. (1999) 'Introduction to Environmental Remote Sensing'. England: Psychology Press

Bayarjargal, Y. Karnieli, A. Bayasgalan, M. Khudulmur, S. Gandush, C. Tucker, C.J. (2006) 'A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis', *Remote Sens. Environ.*, **105** (1) 9-22.

Bokusheva, R. Kogan, F. Vitkovskaya, I. Conradt, S. Batyrbayeva, M. (2016) 'Satellite-based vegetation health indices as a criteria for insuring against drought-related yield losses', *Agricultural and Forest Meteorology*, **220** 200-206.

Burrough, P.A. (1986) 'Principles of Geographical Information Systems', *Oxford Clarendon*, **15**

Cammalleri, C., Verger, A., Lacaze, R. & Vogt, J. V. (2019) 'Harmonization of GEOV2 fAPAR time series through MODIS data for global drought monitoring', *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, **80** 1-12.

- Campbell, J. B. (1996) 'Introduction to Remote Sensing (Second Edition)', The Guilford Press.
- Chang, S., Wu, B., Yan, N., Zhu, J., Wen, Q. & Xu, F. (2018) 'A Refined Crop Drought Monitoring Method Based on the Chinese GF-1 Wide Field View Data', *Sensors* **18** (4) 25-30.
- Chen F., Yang, S. Su, Z. Wang, K. (2016) 'Effect of emissivity uncertainty on surface temperature retrieval over urban areas: Investigations based on spectral libraries', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **114** 53 - 65.
- Chen, W., Xiao, Q., Sheng, Y. (1994) 'Application of the anomaly vegetation index to monitoring heavy drought in 1992', *Remote Sensing of Environment*, **9** 106–112.
- Chopra P. (2006) 'Drought risk assessment using remote sensing and GIS: a case study of Gujarat', Netherlands: M.Sc. Thesis, ITC, Enschede.
- Chuai, X.W. Huang, X.J. Wang, W.J. Bao G. (2013) 'NDVI, temperature and precipitation changes and their relationships with different vegetation types during 1998-2007 in Inner Mongolia, China' *Int. J. Climatol.*, **33** (7) 1696-1706.
- Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, R. K., Bathke, D. J. Moritz, M. A. (2017) 'Defining Ecological Drought for the Twenty - First Century', *Bulletin of the American Meteorological Society*, **98** 112.
- Dalezios, N. R. (2011) 'Spatiotemporal classification of drought severity. Proceedings of the 5th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture', Skiathos: Food and Environment **1** 171-182.
- Danfeng, S., Dawson, R., Baoguo, L. (2006) 'Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China', *Environ. Manage.*, **79** 348-356.
- Dantur Juri, M. J., Estallo, E., Almiron, W., Santana, M., Sartor, P., Lamfri, M. & Zaidenberg, M. (2015) 'Satellite-derived NDVI, LST, and climatic factors driving the distribution and abundance of Anopheles mosquitoes in a former malarious area in northwest Argentina', *Vector Ecol.*, **40** (1) 36-45.
- de Brito, Y. M. A., Rufino, I. A. A., Braga, C. F. C. & Mulligan, K. (2021) 'The Brazilian drought monitoring in a multi-annual perspective', *Environ. Monit. Assess.*, **193** (1) 31.
- Dracup, J., Lee, K. & Paulson, E. (1980) 'On the statistical characteristics of drought events', *Water Resources Research*, **16** (2) 289-294.

- Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson, Jr., E.G. (1980) ‘On the definition of droughts’, *Water Resources* **16** (2) 297-302.
- Gallo K. P., Owen T. W. (1999) ‘Satellite based adjustments for the urban heat island temperature bias’, *Journal of Applied Meteorology*, **38** 806 – 813.
- Guohui Zhao, Yaonan Zhang, Junlei Tan, Cong Li, and Ren Yanrun (2020) ‘A Data Fusion Modeling Framework for Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat-8 and Modis Data’, *Sensors*, **20** 4337.
- Iglesias, A., Lopez-Francos, A., & Moneo, M. (2007) ‘Drought management guidelines technical annex’, *Options Méditerranéennes*, **B** 58.
- J. Wang, K.P. Price, P.M. Rich (2001) ‘Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains’, *Int. J. Rem. Sens.*, **22** (18) 3827-3844.
- Ji, L., and A. Peters (2003) ‘Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices’, *Remote Sens. Environ.*, **87** 85 – 98.
- Juan-Carlos Jimenez-Munoz, Jordi Cristóbal Rosselló, Jose Sobrino, Guillem Sòria Barres, Miquel Ninyerola, and Xavier Pons (2009) ‘Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data’, *Geoscience and Remote Sensing*, **47** 339-49.
- Kogan, F.N. (1995) ‘Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection’, *Advances in Space Research* **15** 91–100.
- Liu, X. Zhu, X. Pan, Y. Li, Y. Liu, Y. (2016) ‘Agricultural drought monitoring: Progress, challenges, and prospects’, *J. Geogr. Sci.*, **26** (6) 750-767.
- Livada I. and Assimakopoulos V. D. (2007) ‘Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)’, *Theor. Appl. Climatol.*, **89** 143–153.
- Lkhagvadorj Nanzad, Jiahua Zhang, Battsetseg Tuvdendorj, Mohsen Nabil, Sha Zhang, Yun Bai (2019) ‘NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016’, *Journal of Arid Environments*, **164** 69-77.
- Palmer, W.C. (1965) ‘Meteorological Drought. Research Paper No.45’ Washington, DC: US Department of Commerce Weather Bureau

- Parker, H.D. (1989) 'A Survey and Commentary, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing', *Gis Software*, **55** (11), 1589-1591.
- Prasanjit Dash, Frank M. Göttsche, Folke Olesen, and Herbert Fischer (2002) 'Land Surface Temperature and Emissivity Estimation from Passive Sensor Data: Theory and Practice-Current Trends', *International Journal of Remote Sensing*, **23** 2563.
- Qin, Q., Chulam, A., Zhu, L. (2008) 'Evaluation of MODIS derived perpendicular drought index for estimation of surface dryness over northwestern China', *International Journal of Remote Sensing*, **7** 1983–1995.
- Schmugge, T. (2002) 'Temperature and Emissivity Separation from Multispectral Thermal Infrared Observations', *Remote sensing of environment*, **79** 189-98.
- Silleos, N., Alexandridis, T., Gitas, I. and Perakis K. (2006) 'Vegetation indices: 30 years advances in biomass estimation and vegetation monitoring', *Geocarto International*
- Song, X., Saito, G., Kodama, M. (2004) 'Early detection system of drought in East Asia using NDVI from NOAA AVHRR data', *International Journal of Remote Sensing*, **25** 3105–3111.
- Szalai , S. & Szinell , C. (2000) 'Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary — a case study', *Drought and Drought Mitigation in Europe.*, **VI** 161–166.
- Trenberth, K.E. (2011) 'Changes in precipitation with climate change', *Clim. Res.*, **47** (1–2) 123-138.
- Vaani, N., Porchelvan, P. (2017) 'Assessment of long term agricultural drought in Tamilnadu, India using NDVI anomaly', *Dis. Adv.*, **10** (10) 1-10.
- Vancutsem C., Ceccato P., Dinku T., S. J. Connor (2009) 'Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa', *Remote Sensing of the Environment*, **114** 449 - 465.
- Wallén, C. C. (1970) 'Climates of northern and western Europe, Amsterdam', New York: Elsevier Pub. Co.
- Wallén, C. C. (1977) 'Climates of central and southern Europe, Amsterdam' New York: Elsevier Scientific; distributors for the U.S. and Canada, Elsevier-North Holland.
- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. (1985) 'Understanding the drought phenomenon: The role of definitions', *Water International*, **10** (3) 111-120.

Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V.K R. Pulwarty (2014) 'Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy', *Weather Clim. Extrem.*, **3** 4-13.

Yevjevich, V. (1967) 'An objective approach to definitions and investigations of hydrologic droughts', *Hydrology Papers*, (23).

Z. Wan, P. Wang, X. Li (2004) 'Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA', *Int. J. Rem. Sens.*, **25** (1) 61-72.

Zhao-Liang Li, Hua Wu, Ning Wang, Shi Qiu, José A. Sobrino, Zhengming Wan, Bo-Hui Tang, and Guangjian Yan. (2013) 'Land Surface Emissivity Retrieval from Satellite Data', *International Journal of Remote Sensing*, **34** 3084-127.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://landsat.usgs.gov>
<http://landsat.usgs.gov/landsat-7-data-users-handbook>
<http://landsat.usgs.gov/landsat-8-data-users-handbook>
http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php
<http://www.earth.esa.int>
<http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/data/nrt/NDVI/S30/om2102n.png>
http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_2.jsp?lang=en
http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_2.jsp?lang=en
<http://www.wunderground.com>
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007GL031485>
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008GL035772>
<https://books.google.gr/books>
<https://community.esri.com/t5/arcgis-spatial-analyst-questions/build-a-model-to-calculate-monthly-average-from-daily-rainfall/m-p/336230>
<https://community.esri.com/t5/arcgis-spatial-analyst-questions/build-a-model-to-calculate-monthly-average-from-daily-rainfall/m-p/336230>
<https://community.esri.com/t5/python-questions/cell-statistics-with-list-rasters/m-p/513764>
<https://community.esri.com/t5/python-questions/cell-statistics-with-list-rasters/m-p/513764>
https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_2-monthly/tifs/
https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_2-monthly/tifs/
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/wkfl-create-a-multidimensional-mosaic-dataset-from-a-set-of-time-series-images.htm>
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/wkfl-create-a-multidimensional-mosaic-dataset-from-a-set-of-time-series-images.htm>
<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat-7>
<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat-7>
<https://earthdata.nasa.gov/>
<https://earthengine.google.com/>
<https://earthengine.google.com/>
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
[service=TmAvmP&starttime=&endtime=&dataKeyword=TRMM_3B43](https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvmP&starttime=&endtime=&dataKeyword=TRMM_3B43)
https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvmP&starttime=&endtime=&dataKeyword=TRMM_3B43
<https://gpm.nasa.gov/education/lesson-plans/earthlabs-drought>
<https://gpm.nasa.gov/education/lesson-plans/earthlabs-drought>
<https://gpm.nasa.gov/education/lesson-plans/exploring-environment-drought-problem>
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/976083>
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/23/3/2009jcli2900.1.xml>
<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>
<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/2/MOD11C3--6/2001-01-01..2016-01-01,2020-01-01..2021-01-01/DB/World>
<https://libguides.library.kent.edu/spss/pearsoncorr>
<https://libguides.library.kent.edu/spss/pearsoncorr>

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-21344-2_13
<https://lpdaac.usgs.gov/resources/e-learning/masking-visualizing-and-plotting-appeears-output-geotiff-time-series-python/>
<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
<https://nhess.copernicus.org/articles/19/1685/2019/>
<https://nhess.copernicus.org/articles/19/1685/2019/>
<https://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html> - //002w0000007p000000
<https://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/002w0000007p000000>
<https://search.earthdata.nasa.gov/>
https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2006/msc/iirs/sharma.pdf
<https://www.drought.gov/>
<https://www.drought.gov/historical-information?dataset=0&selectedDateUSDM=20100803>
<https://www.fcc.gov/media/radio/dms-decimal>
<https://www.fcc.gov/media/radio/dms-decimal>
<https://www.ncdc.noaa.gov/>
[https://www.ncdc.noaa.gov/ National Centers for Environmental Information](https://www.ncdc.noaa.gov/NationalCentersforEnvironmentalInformation)
<https://www.ncdc.noaa.gov/paleo-search/study/19419>
<https://www.ncdc.noaa.gov/paleo-search/study/19419>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324341200058X?>
<https://www.sciencedirect.com/search?qs=protected%20areas%20entry%20fees>
<https://www.youtube.com/watch?v=o-NBWXiyC3k> NASA ARSET: Drought Monitoring Analysis and Application
<https://www.youtube.com/watch?v=o-NBWXiyC3k> NASA ARSET: Drought Monitoring Analysis and Application, Session
https://www2.chemistry.msu.edu/courses/cem434/Lecture_statistics_2.pdf